

**EVALUACIÓN DE LOS PRETRATAMIENTOS DE DESHIDRATACIÓN  
OSMÓTICA Y MICROONDAS EN LA OBTENCIÓN DE HOJUELAS DE  
MANGO *Tommy Atkins***

**MARIBEL GARCÍA PATERNINA**

**YEINNER DANVIER PELUFFO SEGURA**

**Proyecto de grado para otorgar el título de Ingeniero de Alimentos.**

**UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA**

**FACULTAD DE INGENIERIA**

**PROGRAMA DE INGENIERIA DE ALIMENTOS**

**BERÁSTEGUI**

**2015**

**EVALUACIÓN DE LOS PRETRATAMIENTOS DE DESHIDRATACIÓN  
OSMÓTICA Y MICROONDAS EN LA OBTENCIÓN DE HOJUELAS DE  
MANGO *Tommy Atkins***

**MARIBEL GARCÍA PATERNINA  
YEINNER DANVIER PELUFFO SEGURA**

**Proyecto de grado para otorgar el título de Ingeniero de Alimentos.**

**DIRECTOR  
ARMANDO ALVIS BERMUDEZ Ph.D**

**CO-DIRECTOR  
CARLOS ALBERTO GARCÍA MOGOLLON MSc.**

**UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
PROGRAMA DE INGENIERIA DE ALIMENTOS  
BERÁSTEGUI  
2015**

El Jurado Calificador del Trabajo no será responsable de las ideas emitidas por los autores (Artículo 46, acuerdo No. 006 de mayo 29 de 1979, Consejo Directivo)

**Nota de aceptación**

---

---

---

---

---

---

---

---

---

Firma Jurado

---

Firma Jurado

### ***Dedicatordia Maribel***

*Dedico este trabajo a Dios por darme fortaleza, entendimiento y paciencia para alcanzar este logro tan importante en mi vida, a pesar de las adversidades siempre me mostro que se pueden superar aliviando mis cargas. Gracias papito Dios!!!*

*A mi madre Miriam Paternina por ser una inspiración, compañera de mis sueños que siempre confió y tuvo fe en mí, a mi padre Arnulfo García que gracias a su incondicionalidad contribuyo a la materialización de mi carrera con su trabajo, su amor, y respeto por hacer las cosas de la mejor forma y por depositar toda la confianza a pesar de las fallas.*

*A la persona que ha estado conmigo en todo este proceso, Carlos Alberto por su paciencia, dedicación y su apoyo incondicional.*

*A mis hermanas y sobrinos que fueron impulso para renovar mis fuerzas y a mi compañero de tesis Yeinner Peluffo que fue un gran apoyo para culminar este documento y alcanzar este logro en mi vida.*

## ***Dedicatoria Yeinner***

*Dedico este trabajo principalmente a Dios, por haberme dado la vida y permitirme el haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional. Con mucho cariño principalmente a mi madre y mi abuela que me dieron la oportunidad de cumplir un sueño más en mi vida y que han estado conmigo en todo momento. Gracias por todo mama y abuela por darme una carrera para mi futuro y por creer en mí, aunque hemos pasado momentos difíciles siempre han estado apoyándome y brindándome todo su amor, por todo esto les agradezco de todo corazón el que estén conmigo a mi lado. Las quiero con todo mi corazón y este trabajo es la culminación de un sueño de ustedes de hacerme un hombre de bien y que me llevó tiempo corresponderle a verme como un profesional pero todos es esfuerzo en esta vida hoy veo reflejado el esfuerzo suyo y mío para alcanzar otra meta en la vida y demostrar que por los sueños se lucha y se entrega para alcanzarlo. Aquí está lo que ustedes me brindaron, solamente les estoy devolviendo lo que ustedes me dieron en un principio.*

*También a las personas que me dieron su apoyo incondicional dedico esta tesis a mis amigos Carlos García y Maribel García quienes fueron un gran apoyo durante toda mi experiencia en la universidad y un inmenso apoyo para alcanzar este logro en mi vida.*

*A mi novia Yuli Páez quien me apoyo y alentó para continuar, cuando parecía que me iba a rendir.*

*A mis compañeros de estudio, a mis profesores y amigos, quienes sin su ayuda nunca hubiera podido tener este logro. A todos ellos se los agradezco desde el fondo de mi alma. Para todos ellos hago esta dedicatoria.*

*“La dicha de la vida consiste en tener siempre algo que hacer, alguien a quien amar y alguna cosa que esperar”. Thomas Chalmers*

## **Agradecimientos**

A los directores Armando Alvis Bermúdez y Carlos Alberto García por su apoyo,  
conocimiento y tiempo para poder realizar este proyecto.

A los jurados calificadores los ingenieros Gustavo Hernández y Ricardo Andrade por sus  
aportes en este trabajo.

A Sindy Galván, Lucia Oviedo y el Señor José por su gran ayuda en la realización de este  
proyecto

Finalmente a la Universidad de Córdoba, en especial al programa de Ingeniería de  
Alimentos, a los laboratorios de GIPAVE y análisis.

## TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	19
2. ESTADO DEL ARTE	22
2.1 IMPORTANCIA MUNDIAL Y NACIONAL DEL MANGO .....	22
2.2 MANGO .....	23
2.3. ESTUDIOS SOBRE SECADO DE FRUTAS.....	25
3. METODOLOGIA	32
3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN .....	32
3.2. LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO.....	32
3.3. VARIABLES .....	32
3.4. PROCEDIMIENTO.....	33
3.4.1. Obtención y adecuación de la materia prima.	33
3.4.2. Pretratamiento al secado.	33
3.4.3. Tratamiento de secado.	34
3.4.4. Determinación cinética de secado	34
3.5. MÉTODOS ANALÍTICOS .....	36
3.5.1 índice de madurez	36
3.5.2. Color	36
3.5.3 evaluación sensorial	37
3.6. Diseño experimental .....	37
4. RESULTADOS	38
4.1. Caracterización físicoquímicamente las hojuelas frescas de mango .....	38



4.2 Deshidratación de las hojuelas de mango .....	40
4.2.1. Curva de Pérdida de Peso .....	42
4.3. Cinética del secado de las hojuelas de mango .....	45
4.3.1. Modelos matemáticos .....	49
4.3.2. Difusividad efectiva .....	53
4.4. Parámetros fisicoquímicos de las hojuelas de mango deshidratado. ....	55
4.4.1. Color .....	55
4.4.2. Evaluación sensorial .....	57
CONCLUSIONES .....	59
BIBLIOGRAFIA .....	61
ANEXOS .....	67

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Pérdida de peso del mango en los Pre-tratamientos .....	40
Tabla 2. Pérdida de peso en pre-tratamiento de DO.....	41
Tabla 3. Pérdida de peso en pre tratamiento de secado .....	44
Tabla 4. Tiempos de secado hasta humedades del 10% .....	44
Tabla 5. Valores de velocidad inicial de secado .....	46
Tabla 6. Parámetros del modelo Logarítmico .....	50
Tabla 7. Parámetros del modelo de Verma et al.....	51
Tabla 8. Valores de difusividad efectiva .....	54
Tabla 9. Valores de CIELab* .....	56

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Escala de madurez del mango variedad Tommy atkins.....	38
Figura 2. Color interno de mango variedad Tommy atkins. ....	39
Figura 3. Escala de madurez del mango criollo de hilacha .....	39
Figura 4. Hojuelas de mango Pre-tratadas.....	41
Figura 5. Rapidez de secado para hojuelas de mangos al aplicar el pretratamiento en microondas. .....	42
Figura 6. Rapidez de secado para hojuelas de mangos al aplicar el pretratamiento de osmodeshidratación.....	43
Figura 7. Rapidez de secado para hojuelas de mangos al aplicar los pretratamientos combinados de microondas y osmodeshidratación. ....	43
Figura 8. Velocidad de secado para hojuelas de mangos sin pre-tratamiento.....	47
Figura 9. Velocidad de secado para hojuelas de mangos Pre-tratados en microondas .....	47
Figura 10. Velocidad de secado para hojuelas de mangos Pre-tratados con deshidratación osmótica. .....	48
Figura 11. Velocidad de secado para hojuelas de mangos Pre-tratados con la combinación de microondas y deshidratación osmótica. ....	48
Figura 12. Comparación de la MR para datos experimentales y modelo logarítmico. ....	51
Figura 13. Comparación de la MR para datos experimentales y modelo de Verma <i>et al.</i> ....	52
Figura 14. Comparación de la MR para datos experimentales y modelo de Verma <i>et al.</i> ....	52
Figura 15. Comparación de la MR para datos experimentales y modelo de Verma <i>et al.</i> ....	53
Figura 16. Color en hojuelas de mango deshidratadas .....	55
Figura 17. Evaluación sensorial de ordenamiento del mango deshidratado .....	57

## LISTA DE ANEXOS

Anexo A. Modelos Matemáticos de ajuste para secado.....	68
Anexo B. Ficha técnica del equipo ColorFlex® EZ.....	69
Anexo C. Combinación de tratamientos.....	72
Anexo D. Análisis estadístico de pérdida peso (%pp) por Pre-Tratamiento.....	73
Anexo E. Análisis estadístico de la velocidad de secado.....	75
Anexo F. Modelos matemáticos de la cinética de secado.....	77
Anexo G. Análisis estadístico para la difusividad.....	81
Anexo H. Graficas de Ln MR y el Tiempo.....	83
Anexo I. Análisis estadístico de CIELab*.....	85
Anexo J. Análisis estadístico del análisis sensorial.....	91

## RESUMEN

El objetivo de este proyecto investigativo fue evaluar el efecto de la deshidratación osmótica (DO), microondas (MW) y combinado (DOMW) como pre tratamientos de secado a aire caliente y solar. Las muestras de mango con 11 a 14°Brix y humedad 80% fueron troceadas en hojuelas de 1x1x0.4 cm; pre-tratadas con solución de sacarosa a una concentración 65°Brix por 60min y temperatura ambiente de 37 a 40°C para DO y una potencia de 560W por 7min para MW; secadas a 70°C en un horno tipo bandeja con aire forzado y al sol durante 6h al día hasta peso constante. La mayor pérdida de peso fue de 66,0% en el pre-tratamiento combinado (DOMW), existiendo diferencias significativas ( $p<0,05$ ) entre los pre-tratamientos para pérdida de peso y tiempo de secado. El modelo logarítmico describe satisfactoriamente las curvas de secado de las hojuelas de mango cuando no se les realiza ningún pretratamiento a las muestras con valores de  $R^2$  de 0,9996 y la suma de cuadrados de error de 0,0004 para el método en horno y para el sol con valores de  $R^2$  de 0,9976 y la suma de cuadrados de error de 0,0058. Para los pre-tratados el mejor fue el modelo de Vermet et al. con valores de  $R^2 > 0,99$ . La  $D_{\text{eff}}$  para pretratados con MW fue mayor  $1,34 \times 10^{-08} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$  en secado en horno. Los parámetros CIELab\* presentan diferencias significativas ( $p<0.05$ ), al aplicar un tratamiento a las hojuelas de mango los valores de  $b^*$  y de  $L$  disminuyen con respecto al mango fresco, la deshidratación osmótica fue la que menos deterioro el color. La evaluación por consumidores de la apariencia de las hojuelas indica que existe una diferencia estadísticamente significativa ( $p<0.05$ ) entre los tratamientos. La preferencia por los consumidores fue mayor en el pretratamiento deshidratación osmótica con secado en horno y el menor fue microondas con secado al Sol.

## ABSTRACT

The objective of this research project was to evaluate the effect of the osmotic dehydration (DO), microwave (MW) and combined (DOMW) as drying pre-treatments solar hot air. Samples of mango with 11 to 14 ° Brix and humidity 80% were chopped into flakes of 1x1x0.4 cm; pre-treated with sucrose solution at a concentration of 65 ° Brix for 60 min and temperature from 37 to 40° C power to DO by 7 min 560W for MW; dried at 70° C in a furnace type tray with forced air and Sun for 6 h per day until constant weight.. The greater weight loss was 66,0% in combined pretreatment (DOMW), there are significant differences ( $p < 0,05$ ) between the pre for weight loss and drying time. The logarithmic model describes satisfactorily handle flakes drying curves when he is not performed any pretreatment samples with values of  $R^2$  of 0,9996 and the sum of squares for error of 0,0004 to the oven method and the Sun with values of  $R^2$  of 0,9976 and the sum of squares for error of 0,0058. The pre-treated for the better was the model for Vermet et al. with values of  $R^2 > 0.99$ . The  $D_{\text{eff}}$  for pretreated with MW was greater  $1,34 \times 10^{-08} \text{m}^2 \text{s}^{-1}$  at drying in oven. CIELab\* parameters show significant differences ( $p < 0,05$ ), the values of  $b^*$  and  $L$  decrease with respect to fresh mango, osmotic dehydration was the least deteriorated the color. Evaluation by consumers of the appearance of the flakes indicates that there is a statistically significant difference ( $p < 0,05$ ) among treatments. The preference by consumers was higher in the oven drying osmotic dehydration pretreatment and the minor was microwave drying in the Sun.

## 1. INTRODUCCIÓN

El mango es una fruta de la zona intertropical y posee una pulpa carnosa con hilos. El área dedicada al cultivo del mango es mayor año tras año a nivel mundial y nacional porque es un fruto arbustivo, con gran capacidad de desarrollo radicular en cualquier tipo de suelo. Es así como en los países productores, el incremento en superficie plantada en la última década, aumentó a una tasa promedio anual del 4,52 %, mientras que la producción lo hizo a un promedio de 6,95 %, habiéndose cosechado un total de 35'665.078 ton en el año 2012. En Colombia, se ha mantenido la misma tendencia, lo que permitió registrar para el año 2012 una producción de mango de 311.920 toneladas, lo que representó un área sembrada de 23.624 hectáreas, con un rendimiento de 12,1 toneladas/hectáreas, y un aporte del departamento de Córdoba del 4% sobre esa producción nacional (Agronet 2012). Estas cifras señalan la importancia del cultivo, razón por la cual se dedican esfuerzos en conocer su comportamiento y proponer maneras de manejo que le permitan al agricultor, obtener la mayor producción y conservación con una calidad que sea reconocida por el consumidor.

Según estudios de mercado publicado en el año 2011 por la Corporación Colombiana internacional (CCI), Colombia tiene un gran potencial exportador por su producción de frutas tropicales, las cuales son apetecidas en el exterior. En particular, el mercado de las "pulpas deshidratadas laminadas" es un nicho que aún no está siendo cubierto por otros países, debido a que es un producto de desarrollo relativamente reciente, cuyo mercado objetivo es la

exportación a países como Alemania, Estados Unidos, Canadá y en forma alternativa a España, Japón y la Comunidad Andina (CCI, 2011). En Colombia, el consumo de fruta deshidratada se limita a la uva pasa y la ciruela pasa, los cuales son productos importados.

Por otra parte el proceso de deshidratación disminuye la actividad acuosa ( $a_w$ ) la cual es una medida de la disponibilidad del agua para las reacciones químicas y bioquímicas y para el desarrollo de microorganismos. Existen varios procesos de deshidratación tal como la exposición del producto alimenticio a una corriente de aire caliente, sin embargo, este método y otros similares tienen el inconveniente de someter el producto a altas temperaturas que pueden alterar sus propiedades organolépticas y nutricionales (Valera et al.2005).

Una técnica que se utiliza con baja temperatura y sin requerimiento de energía es la denominada deshidratación osmótica (DO). Este es el proceso de remoción de agua en el cual los alimentos (tales como frutas y vegetales) son colocados en una solución concentrada de sólidos solubles donde ocurre deshidratación parcial del agua del producto, y simultáneamente se presenta en menor cantidad, la entrada de soluto desde la parte externa hasta el interior del producto a deshidratar. La Deshidratación Osmótica es un método no térmico de deshidratación mediante el cual se logra obtener productos de humedad intermedia con muy buena calidad organoléptica (Barat et al. 2001).



La investigación se orienta en dar suma importancia al mango como materia prima y aprovechar la tendencia que tienen las frutas deshidratadas, en los estilos de vida que en mayor parte se presentan como snack saludables, teniendo en cuenta que cada día el consumidor se concientiza más en la salud y el cuidado de lo que consume de una manera sana y nutritiva. Este hecho se puede corroborar por lo expuesto en el informe de Euromonitor Internacional (Euromonitor internacional 2013).

En la conservación de frutas, el secado combinado con pretratamientos juega un papel importante en el desarrollo de nuevos productos. Se ha de considerar que la deshidratación osmótica aplicada antes del proceso de secado, favorece la disminución de los cambio adverso que ocurre durante el proceso, mejorando el secado y la conservación de la fruta (Zuluaga et al. 2010).

La investigación está orientada a evaluar el efecto del pretratamiento aplicado por microondas y deshidratación osmótica sobre las características de la hojuela de mango (Tommy Atkin), que al final se verá reflejado en la obtención de un mejor producto.

## **2. ESTADO DEL ARTE**

### **2.1 IMPORTANCIA MUNDIAL Y NACIONAL DEL MANGO**

El mango es una de las frutas tropicales que más ampliamente se consumen en el mundo, su comercialización como fruta fresca y como producto cortado está ganando cada vez más importancia (Zapata y Montoya 2012). El mango tiene las mejores condiciones de crecimiento en regiones tropicales con lluvias de verano y temperaturas de 24 a 28°C. A pesar de su frondosidad los árboles son muy resistentes a la sequía. Un periodo de sequía o de temperaturas un poco bajas favorece la inflorescencia y fructificación del mango. Un periodo de descanso vegetativo en todo caso es necesario para inducir la florescencia. Mundialmente la producción de mango es de 35'665.078 toneladas, de modo que el incremento en superficie plantada en la última década en los países productores, aumentó a una tasa promedio anual de un promedio de 5.95%. En Colombia, se ha mantenido la misma tendencia, lo que permitió registrar de acuerdo a los datos reportados por Agronet, el área sembrada y por ende producción de mango, se observó un aumento en el año 2012. El área sembrada fue de 23.624 hectáreas lo que generó una producción de 311.920 toneladas, siendo Cundinamarca, Tolima, Magdalena y Antioquia los departamentos que más aportaron a la producción nacional de mango. Para el caso del departamento de Córdoba el área de producción de mango estuvo representada a nivel nacional tan solo con un 4% (Agronet 2012).

## 2.2 MANGO

El fruto de mango es una gran drupa carnosa que puede contener uno o más embriones. Los mangos de tipo indio son mono-embriónicos y de ellos derivan la mayoría de los cultivares comerciales. Generalmente los mangos poliembriónicos se utilizan como patrones. Posee un mesocarpo comestible de diferente grosor según los cultivares y las condiciones de cultivo. El peso del fruto varía desde 150 g hasta 2 kg. Su forma también es variable, pero generalmente es ovoide-oblonga, notoriamente aplanada, redondeada, u obtusa a ambos extremos, de 4-25 cm, de largo y 1,5-10 cm, de grosor. El color puede estar entre verde, amarillo y diferentes tonalidades de rosa, rojo y violeta. La cáscara es gruesa, la carne es de color amarillo o anaranjado, jugoso y sabroso (Infoagro 2013).

El mango se cultiva comercialmente en las áreas tropicales, en alturas desde los 0 metros hasta 1.600 msnm (en Colombia, en zonas como santabárbara, Antioquia). Sin embargo, hay que considerar que por cada 120 metros, hay un retraso en la floración de cuatro días, ocurriendo lo mismo por cada grado de latitud hacia el norte o al sur del ecuador (Infoagro 2013).

En el mercado nacional se encuentran 16 variedades de mango que se pueden agrupar en dos grandes grupos: las variedades criollas (común, mariquiteño, chancleto, vallenato y de azúcar) y variedades mejoradas, que son originarias de la florida y son comúnmente conocidas como mango de mesa (*Tomy atkins*, *Keitt*, *Yulima*, *Kent*, *Haden*, etc.). Algunas de éstas últimas, tienen dificultades de adaptación y comportamiento diferencial a la floración y productividad de acuerdo al ambiente en que se establezcan (Asohofrucol Corpoica 2013).

El mango tiene una comercializado para consumos domésticos y de exportación ya que se puede consumir en estado fresco y puede preservarse congelado. Cuando la fruta está totalmente madura se puede consumir en jugo, pulpa, néctares, mermeladas, jalea, enlatados, helados, pasteles e incluso en pan de mango. Por otra parte el mango es una fruta con alto contenido de Vitaminas A y C en una porción de 100 gramos el 60% es pulpa comestible sin cáscara ni semilla, contiene 80 mg. de ácido ascórbico, 81,8 gramos de agua, 10 mg de calcio, 58 calorías, 16,4 gramos de carbohidratos, 14 mg. de fósforo, 0,4 mg. de hierro y 1100 ui de vitamina A (ANACAFE 2012).

El mango de variedad *Tommy Atkins* es de porte alto, fruta de color rojo intenso, pesa hasta 700 gramos; la semilla es pequeña y representa el 7% del peso total del fruto; tiene cáscara relativamente gruesa; es muy firme; posee pocas fibras y son muy pequeñas y delgadas. Es de buena calidad y regular de sabor; se considera de alta producción. Uno de los problemas del *tommy*, tiene que ver es que está sujeto al rompimiento fisiológico del fruto antes de la madurez, debido a bajos niveles de calcio; alta vulnerabilidad a ataques de hongos; pudrición interna del fruto, y nariz blanda principalmente; resistente al manejo de la fruta en plantación y poscosecha; algo tolerante a la antracnosis y al ataque de trips; pero susceptible a la pudrición interna de la fruta; ataque de bacteria en el tronco y de producción muy irregular y alternante (Asohofructol Corpoica 2013).

### **2.3. ESTUDIOS SOBRE SECADO DE FRUTAS**

Los productos hortofrutícolas son fuente esencial de nutrientes y su alto contenido de humedad los clasifica como altamente perecederos; considerando la alta actividad agua ( $A_w$ ). Además, las condiciones de temperatura y humedad relativa favorecen el crecimiento de microorganismos y las reacciones químicas. La deshidratación busca reducir la  $A_w$  para alcanzar el equilibrio entre la calidad y la vida útil del producto; sin embargo, el secado convencional con aire caliente va acompañado por cambios en atributos importantes como son el color, la textura, y cambios químicos que afectan el flavor y los nutrientes (Krokida y Philippopoulos 2006).

Las altas temperaturas, el tiempo de contacto y el costo de operación constituyen los problemas asociados al secado convencional que al final se traducen en pérdida de calidad. El beneficio de secar no solo es reducir el volumen, el empaque y los costos de transporte del producto, sino la posibilidad de agregar valor al alimento procesado; por lo tanto, el reto es reducir la humedad donde los microorganismos no crezcan, manteniendo el alto valor nutricional y funcional (Raghavan et al. 2005).

Se han realizado investigaciones acerca de la aplicación de los diferentes procesos de secado para el deshidratado de frutas, entre las cuales figura el deshidratado con aire caliente, osmótico y solar. Diferentes autores reportan estudios realizados con la técnica de secado convectivo como Zotarelli et al. (2012) que evaluaron la aplicación de un proceso de secado convectivo flash múltiple para producir frutas deshidratadas y crujientes, Koyuncu et al. (2007) evaluaron las características de secado y necesidades de energía para el secado de

dos genotipos de frutas de Azarole que fueron deshidratadas en un secador de aire caliente convectivo a una temperatura de 60 y 70°C a una velocidad del aire de 0,25m.s<sup>-1</sup>.

Por otro lado se han evaluado las características de secado al aire y rehidratación de los frutos de la palmera datilera (*Phoenix Dactylifera l.*) determinando la influencia de la variedad y temperatura de 50-80°C del aire para secar de los frutos de la palmera datilera, presentando el secado en el periodo decreciente, además determinaron el efecto de la variedad y la rehidratación en un rango de temperatura de 15-45°C, manteniendo la proporción de agua de 1:25 p/p; el cambio de humedad durante el secado al aire y rehidratación describiendolo por el modelo de difusión de Fick, la relación de Arrhenius expresa el efecto de la temperatura en las difusividades durante el secado al aire y rehidratación respectivamente (Falade y Abbo 2007).

La cinética de secado ofrece la base para la construcción de procesos de secado eficientes debido a su optimización con respecto al consumo de energía y tiempo de secado (Kowalski y Mierzwa 2013). Por otro lado, Pereira et al. (2014) utilizaron modelos matemáticos para describir el secado en capa delgada y para determinar la velocidad de secado de plátanos enteros, en donde seleccionaron varios modelos empíricos para simular experimentos realizados con plátanos enteros a temperaturas de 40, 50, 60 y 70°C. El tiempo del proceso osciló entre 1200 (70°C) hasta 3265 (40°C) min; la tasa máxima de secado se produjo al principio del proceso y varió de  $1,95 \times 10^{-3}$  (40 °C) y (70 °C)  $3,60 \times 10^{-3} \text{ min}^{-1}$ . Los modelos de Page y Silva et al. fueron los mejores para describir la cinética de secado en este estudio.

Togrul y Pehlivan (2004) realizaron estudios sobre la modelación de la cinética de secado de capa fina de algunas frutas en proceso de secado al sol, en donde realizaron experimentos de secado en albaricoques previamente sulfitado con  $\text{SO}_2$  o  $\text{NaHSO}_3$ , uvas, melocotones, higos y ciruelas, en rangos de temperatura ambiente a  $27\text{--}43^\circ\text{C}$  y  $0,72\text{--}2,93 \text{ mJ.m}^{-2}.\text{h}^{-1}$  radiación solar. Con el fin de determinar el comportamiento de los frutos durante el secado en condiciones naturales, al sol, utilizaron doce modelos matemáticos que fueron utilizados para ajustar los modelos del secado de los frutos, el modelo difusional, Henderson y Pabis en albaricoque y el modelo dado por Verma et. fueron los que mostraron un mejor ajuste para la cinética de secado al sol.

VijayaVenkataRaman et al. (2012) presentaron el uso de tecnologías de secado solares, donde revisan los diferentes diseños de secadores solares y sus tipos, especialmente a las tecnologías de secado solares que facilitan el secado de cultivos en horas que no hay luz del sol. Los secadores solares están diseñadas para ser utilizados en cultivos específicos como los vegetales secos, fruto secos, granos secos, uva secas, también mejoran las especificaciones y los resultados.

Algunos autores reportan estudios realizados a los diferentes procesos de secado para el deshidratado de mango, Caparino et al. (2012) evaluaron el efecto del método de secado en las propiedades físicas y las microestructuras de mango en polvo usando ventana refractaria de secado, liofilización, tambor de secado y secado por aspersión. El mango en polvo lo obtuvieron con un contenido de agua por debajo de  $0,05 \text{ kg agua/kg de sólidos secos}$ ; Chen et al. (2007) estudiaron los efectos de los diferentes tratamientos de secado sobre la estabilidad de los carotenoides en mango taiwanés sometidos a diferentes tratamientos de secado. Los

mangos los remojaron en una solución de sulfito de hidrógeno de sodio 1% o ácido ascórbico 1%, antes de someterlos al aire caliente de secado y liofilización. El rendimiento más alto de los carotenoides lo alcanzado por liofilización y en remojo en solución de sulfito de hidrógeno de sodio 1%.

Zapata y Montoya (2012) estudiaron el efecto de la temperatura y la concentración de ácido cítrico sobre la deshidratación osmótica de láminas de mango cv. *tommy atkins*, los cuales evaluaron los porcentaje de pérdida de peso (%pp), ganancia de sólidos (%gs), pérdida de humedad (%ph), y pérdida de actividad acuosa (%paw) en un rango de temperatura de 25°C – 45°C y de ácido cítrico de 1% - 3%, los niveles máximos de los parámetros cinéticos lo consiguieron después de 4 horas a una temperatura 45°C y una concentración de ácido cítrico 3%, siendo 47.62%, 53,07% y 6,04%, los valores óptimos para la pérdida de peso, pérdida de humedad y la pérdida de actividad acuosa respectivamente, con aceptación sensorial del 100 % y reducciones en los recuentos microbianos de más de dos ciclos logarítmicos.

Oviedo et al. (2005) evaluaron la pérdida de peso en muestras de mango utilizando la deshidratación osmótica como pre tratamiento, en concentraciones de 50,60 y 70% p/p, en una relación 1:3 fruta/solución encontrando una mayor pérdida de humedad en el mango cuando utilizaron la solución del 70%.

Zuluaga et al (2010) estudiaron la combinación de tecnologías, aplicando DO como pretratamiento al secado convencional donde evaluaron la influencia del proceso y la temperatura de secado (60 y 70°C) sobre las características físicas del mango (*Tommy Atkins*). Los métodos que utilizaron fueron: humedad final, actividad de agua, fuerza de fractura, color



y rehidratación. El secado de mango sin pretratamiento a 70°C fue el que presento una mayor velocidad de eliminación de agua del interior de la fruta, la menor humedad final (10.2%), la menor actividad de agua (0,362) y la mayor fuerza de fractura (399,8 N).

Azoubel y Da Silva (2008) aplicaron deshidratación osmótica a tajadas de pulpa de mango variedad *Tommy Atkins* utilizando una solución de sacarosa con concentraciones de 40, 44, 50, 56 y 60% (p/p), con tiempos de inmersión de 60, 78, 105, 132 y 150 min, y temperaturas de proceso de 30, 34, 40, 46 y 50 °C. Las mejores condiciones en la deshidratación osmótica (disminución del 25% de agua del producto y ganancia de sólidos de menos del 6%) fueron para la concentración de solución de sacarosa de 44%, temperatura cercana a 38°C y un tiempo de inmersión de 80 min.

Zazueta et al. (1994) estudiaron los efectos de la temperatura, el tiempo de inmersión y la concentración de la solución osmótica de 25 a 65°Brix como pre-tratamiento a una deshidratado con aire caliente, para mejorar el proceso y la calidad de hojuelas deshidratadas de mango encontrando que el tiempo de tratamiento y la concentración de la solución osmótica fueron los que mostraron mayor efecto sobre la pérdida de agua, vitamina C y color que la temperatura. Las mejores condiciones del tratamiento osmótico fueron a 45 a 55°Brix en un tiempo de 136 a 230 minutos y, a una temperatura de 50 °C; con valores de pérdida de agua de 37 a 43%, de contenido de vitamina C de 18 a 31%, de ganancia de soluto de 6,1 a 6,7 % y color b de 33.

Ochoa et al. (2012) evaluaron las características de secado de rebanadas de mango (1 y 2 mm de espesor) mediante la técnica de ventana refractaria (RW) con un baño de agua a una

temperatura de 92°C, donde determinaron la cinética de secado, la actividad de agua y el cambio de color; compararon las rebanadas secadas en una bandeja tipo secador a una temperatura de 62°C y una velocidad del aire de 0,52 m/s. A 1 h, encontraron que el contenido de humedad era de 0,013 y 0,048 (de 2 mm de la muestra) kg agua/kg sólidos seco para RW y 0,966 y 3,614 (para la muestra 2 mm) kg agua/kg sólidos seco para bandeja de secado y la actividad de agua era inferior a 0,5 para RW y cerca de 0,97 para bandeja de secado. Para las muestras secadas por RW encontraron difusividades de  $4,40 \times 10^{-10}$  (para 1 mm muestra) y  $1,56 \times 10^{-9}$  (para la muestra 2 mm)  $\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ , que son mayores que las muestras secadas al aire,  $2,08 \times 10^{-11}$  (1 mm) y  $6,83 \times 10^{-11}$  (para la muestra 2 mm).

Por otro lado se tiene que la aplicación de microondas a un proceso de secado proporciona una forma eficaz de transferencia de energía para la eliminación de la humedad. En el secado por microondas cuando el alimento entra en contacto la energía electromagnética el calor es generado dentro del producto a través de la excitación molecular del agua causada por el campo electromagnético y el vapor formado es removido pasando aire en la superficie del alimento. El secado por microondas implica controlar la temperatura del producto, la potencia por unidad de masa del producto ( $\text{W} \cdot \text{g}^{-1}$ ) y el tiempo de contacto. Dos mecanismos están involucrados en la interacción microonda /alimento: rotación dipolar y conducción iónica. En conducción iónica, se aceleran iones por campos eléctricos haciendo que se muevan hacia la dirección opuesta a su propia polaridad. El movimiento de los iones provoca choques con las moléculas del material. Se crea una energía cinética desordenada y en consecuencia se genera calor en todo el producto. El nivel de energía de microondas se corresponde con el nivel de energía de rotación de las moléculas polares. La fricción entre las moléculas de rotación rápida genera calor en todo el material en lugar de ser transferido desde la superficie a la parte

interior, como es el caso del secado convencional de aire caliente convectivo (Orsat et al. 2007). El secado por microondas ha mostrado ser efectivo para numerosos productos agrícolas y las investigaciones han sido direccionadas a evaluar la eficacia y cinética del secado, comparar los resultados obtenidos con el secado convencional a través de los modelos de secado en capa fina y determinar los cambios en los valores de las propiedades fisicoquímicas, organolépticas, nutricionales y funcionales del alimento.

En la cinética de secado por microondas la mayor parte de remoción de agua tiene lugar en el período de velocidad decreciente (Soysal et al. 2006); es principalmente en este período en que el uso de microondas puede resultar más beneficioso, dado que el alimento absorbe la energía del microondas, se produce un gradiente de temperatura cuando la temperatura del centro es mayor, obligando a salir la humedad (Erle 2005). Los parámetros cinéticos y difusionales de humedad se evalúan a través de modelos que permiten describir el mecanismo del movimiento del agua a través del alimento, lo cual es necesario en el diseño y modelado de los procesos de transferencia de masa y energía, y su posterior aplicación a nivel industrial.

Se han realizados estudios con productos hortofrutícolas como uvas pasas en términos de color, cristalización, pegajosidad y uniformidad (Tulasidas et al. 1995a, b), ajo (Sharma y Suresh 2004), brevas (Stamatios et al. 2004), perejil (Soysal 2004), zanahorias evaluando color y rehidratación (Zheng et al. 2004), banana (Nemes et al. 2005), estabilidad de ácido ascórbico en fresas (Bohm et al. 2006), espinacas (Alibas et al. 2007), menta (Derya y Okyay 2010); que han mostrado las ventajas del secado asistido por microondas al minimizar las pérdidas de calidad, calentamiento rápido, distribución uniforme del calor y declive del periodo de secado.

### **3. METODOLOGIA**

#### **3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN**

Es una investigación de tipo experimental.

#### **3.2. LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO**

Para este estudio se tomaron como materia prima mango variedad cv. *Tommy Atkins*, comercializado en el departamento de Córdoba. Se realizó en las plantas piloto-sector frutas de la Universidad de Córdoba sede Berastegui ubicada en el corregimiento de Berástegui, municipio de Ciénaga de Oro, Departamento de Córdoba, Colombia, con una temperatura ambiente promedio de 30 ° C, humedad relativa 80%, una altura de 20 m.s.n.m. y una presión atmosférica promedio de 752 mm Hg.

#### **3.3. VARIABLES**

Variable independiente

Pretratamientos: Microondas, Deshidratación osmótica, combinada

Tratamiento de secado: Horno, Solar

Variable dependiente

Tiempo de secado

Humedad (Pérdida de peso de agua)

Color ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ )

### **3.4. PROCEDIMIENTO**

#### **3.4.1. Obtención y adecuación de la materia prima.**

Los mangos (*cv. Tommy Atkins*) utilizados como materia prima se seleccionaron con un IM de 0,125 de 11 a 14°Brix y humedad 80+1% los cuales se sometieron a operaciones de lavado, pelado, troceado. El troceado para obtener las hojuelas de mango se realizó en una picadora, las cuales tuvieron una dimensión de 1x1x0,4 cm.

#### **3.4.2. Pretratamiento al secado.**

Deshidratación osmótica. Para el tratamiento osmótico se utilizó una solución de sacarosa que se preparó con azúcar comercial a una concentración 65°Brix verificada con un refractómetro y temperatura ambiente de 37 a 40°C. En unas bolsas plásticas se dispuso la solución osmótica con relación peso muestra/volumen solución 1:5 para posteriormente sumergir 100g de hojuelas por un tiempo de 60 min. Una vez culminado este tiempo de pretratamiento, la muestra deshidratada se escurrió por 15 min en un colador para eliminar el exceso de solución osmótica, el peso se determinó utilizando una balanza analítica (MettlerPS4000 con exactitud  $\pm 0.01$  g).

Deshidratación por microondas. Se utilizó un horno microondas domestico de marca Haceb HM-1.1 con una frecuencia de 2450MHz y dimensiones internas de 354x228x373mm. Se tomaron 50g de muestra y se distribuyeron uniformemente en el plato del microondas a una potencia de 560W por 7min. La masa de las muestras durante el secado se determinó utilizando una balanza analítica (MettlerPS4000 con exactitud  $\pm 0.01$  g).

Combinado. Se aplicó el pretratamiento de deshidratación osmótica donde se utilizó una solución de sacarosa de 65°Brix por 60min y temperatura ambiente de 37 a 40°C seguido de microondas a una potencia de 560W por 7min, acorde a los procedimientos preliminares.

### **3.4.3. Tratamiento de secado.**

Secado al sol. Se utilizaron bandejas de 50g de muestra y se expusieron a la radiación solar de 9:00 a las 15:00 hasta peso constante, en la sede Berastegui ubicada en el corregimiento de Berástegui, municipio de Ciénaga de Oro, Departamento de Córdoba, Colombia.

Secado por convección: Se usó un horno convección marca Technicook modelo MINICONV con dimensiones 580 mm de ancho, 630 mm de profundidad, 435 mm de alto, tipo bandeja del Laboratorio de Gipave de la Universidad de Córdoba, sede Berastegui. La temperatura de secado fue de 70°C y el tiempo del proceso fue hasta obtener peso constante en las muestras.

### **3.4.4. Determinación cinética de secado**

Curvas de secado. Las curvas de secado se realizaron registrando la pérdida de peso de la muestra cada 10 min en las primeras 2 h de proceso y luego cada 30 min hasta peso constante. Los pesos obtenidos se convierten en términos de humedad libre empleando las ecuaciones:

$$X_t = \frac{W - W_s}{W_s}$$

Dónde:  $W$  es el peso del sólido húmedo (kg totales de agua más sólido seco),  $W_s$  es el peso del sólido seco (kg sólido seco), y  $X_t$  es la relación entre el peso del agua y el peso del sólido seco a un determinado tiempo (kg de agua/kg de sólido seco). Posteriormente, se calcularon la humedad libre por medio del contenido de humedad en equilibrio para cada valor de  $X_t$ .

$$X = X_t - X^*$$

Donde:  $X^*$  es la humedad en equilibrio (kg de agua en equilibrio/ kg de sólido seco) o contenido de humedad cuando llega a peso constante,  $X$  es el contenido de humedad libre (kg de agua libre/kg de sólido seco) para cada valor de  $X_t$ .

Modelo matemático de las curvas cinética de secado. Con el fin de determinar el modelo que mejor describe el comportamiento cinético de secado de mango en cada tratamiento, se evaluó el ajuste de los datos experimentales de los modelos de Newton, Page, Page Modificado, Henderson y Pabis, Logaritmico, Thomson, Difusional, Dos términos, Midilli and Kucuk, Modificado de Henderson y Pabis, Two Term Exponential, Verma et al., Modified Page Equation-II (Ver Anexo A), escogiendo el modelo que mejor se ajustó a los datos experimentales. La suma de cuadrados del error (SSE) y el  $R^2$  ajustado fueron estimados para evaluar el ajuste de los modelos. Bajos valores de SSE y altos de  $R^2$  se usaron como criterio para indicar el alto ajuste del modelo. La razón de humedad (MR) durante el secado fue calculada usando la ecuación  $MR = (M - M_e)/(M_o - M_e)$ , donde  $M$  es el contenido de humedad en un tiempo específico,  $M_e$  es el contenido de humedad de equilibrio y  $M_o$  es el contenido inicial de humedad, todas expresadas en g agua/g materia seca. Para el cálculo del coeficiente difusivo se utilizó el modelo difusional de la solución de la segunda ley de Fick para una geometría de lámina infinita y distribución uniforme de la humedad inicial.

$$MR = \frac{X - X_e}{X - X_e} = \frac{8}{\pi^2} \exp \left[ \frac{-D_f \pi^2 t}{4L^2} \right]$$

Donde:

$D_f$  es el coeficiente efectivo de difusividad de agua ( $m^2 s^{-1}$ ),  $X$  humedad en base seca (Kg agua/Kg SS) a cada tiempo,  $X_e$  humedad de equilibrio (Kg agua/Kg SS),  $t$  es el tiempo en hora,  $L$  es el medio espesor de la lámina finita (m).

### **3.5. MÉTODOS ANALÍTICOS**

#### **3.5.1 índice de madurez**

La determinación de los sólidos solubles se realizó al inicio de cinética de secado, donde se utilizó una lectura refractométrica método AOAC 932.12/90. La acidez se midió por el método de titulación potenciométrica método AOAC 942.05/90. El índice de madurez se calculó empleando la relación de sólidos solubles/ acidez.

#### **3.5.2. Color**

El análisis de color se realizó al mango fresco y a las hojuelas, determinando las coordenadas de color del espacio CIELAB ( $L^*$ : luminosidad o claridad;  $a^*$ : coordenada rojo-verde y  $b^*$ : coordenada amarillo-azul). Las mediciones se hicieron con un colorímetro Colorflex EZ 45



(HunterLab®). El colorímetro se calibró con un plato de cerámica estándar de color negro, seguido del plato de color blanco antes de su lectura (Ver Anexo B).

### **3.5.3 evaluación sensorial**

Las muestras de hojuelas de mango se evaluaron mediante un panel sensorial integrado por 50 consumidores, mediante una prueba de ordenamiento simple de Friedman, con una valoración de 1 a 8, siendo 1 la de menor preferencia y 8 la de mayor preferencia.

## **3.6. Diseño experimental**

Se aplicó un diseño experimental completamente al azar con arreglo factorial 4x2 correspondiente a la variable categórica Pre-tratamiento con cuatro niveles (DO: deshidratación osmótica; MW: microondas, .Spt: sin pretratamiento y DOMW: combinado) y el Tratamiento de secado (sol y convectivo); 3 repeticiones para un total de 24 unidades experimentales (Ver Anexo C). Los resultados se analizaron mediante un análisis de varianza (Anova) para determinar si existen diferencias estadísticas significativas al 95% de confiabilidad. Las diferencias significativas se establecieron utilizando la prueba de Tukey con un nivel de confianza de 95%, en el programa estadístico Statgraphic Centurion XVI (Version 16.2.04) y Microsoft Excel.

## 4. RESULTADOS

### 4.1. CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICAMENTE LAS HOJUELAS FRESCAS DE MANGO

La evaluación de las características fisicoquímicas de los frutos de mango permitió establecer el estado de madurez para la aplicación de la deshidratación osmótica y por microondas para la posterior operación de secado en horno y sol. Las propiedades físico-químicas del mango usado fueron  $12,3 \pm 0,7^\circ\text{Brix}$  y  $0,69 \pm 0,1\%$  acidez expresada como ácido cítrico, correspondiendo a un grado 4 de madurez teniendo en cuenta la escala (Figura 1) establecida para el mango variedad *Tommy atkins*.

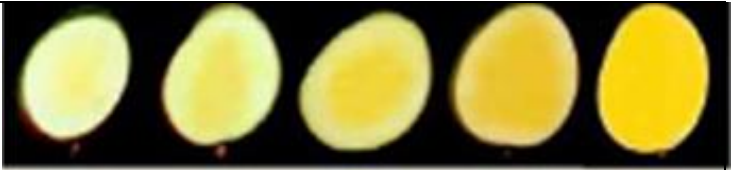
Color interno (pulpa)					
Madurez (grado)	1	2	3	4	5
Firmeza ( $\text{Lb}_f$ )	18-20	15-17	10-13	6-8	3-6
Sólidos solubles ( $^\circ\text{Brix}$ )	7-9	8-11	9-11	10-13	12-15

Figura 1. Escala de madurez del mango variedad Tommy atkins.

Fuente: García, J. et al. (2009)

En cuanto al color interno de la pulpa (Figura 2) los mangos seleccionados se encuentran en los grados (madurez) 3 al 5, los cuales exhiben las mejores características organolépticas y mecánicas para aplicar los procesos posteriores de picado y secado.



Figura 2. Color interno de mango variedad Tommy atkins.

García et al. (2009) usaron una escala de madurez (Figura 3) con las características físico-químicas y color interno del mango criollo de hilacha para establecer que los atributos de calidad para la agroindustria deben estar en un estado de madurez de 4 y 5. Obedeciendo a las características físico-químicas del estudio ( $12,3 \pm 0.7^\circ\text{Brix}$  y  $0,69 \pm 0.1\%$  acidez), deben estar entre 2 y 3 según el estado de madurez de los mangos de hilacha. (Figura 3).

Variable	0	1	2	3	4	5
Cascara (color)	Verde oscuro	Verde claro	Verde claro con visos amarillos	Amarillo con visos verdes	Amarillo	Anaranjado
Pulpa (color)	Amarillo claro	Amarillo	Variación de amarillo de la semilla a la cascara. Color más intenso cercano a la semilla	Aumento del área de amarillo intenso cercano a la semilla	Anaranjado cerca de la semilla, amarilla cerca de la cáscara	Anaranjada
Sólidos solubles ( $^\circ\text{Brix}$ )	7,4	8,3	12,0	14,9	15,9	16,4
Acidez (%ácido cítrico)	1,4	1,16	0,85	0,61	0,47	0,41

Figura 3. Escala de madurez del mango criollo de hilacha.

Fuente: García, J. et al. (2009)

## 4.2 DESHIDRATACIÓN DE LAS HOJUELAS DE MANGO

En la figura 4 se observa la influencia al aplicar los pre-tratamiento de Deshidratación Osmótica (DO), Microondas (MW) y el combinado (DOMW) en la pérdida de peso de las hojuelas de mango, presentado diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) (Ver Anexo D). El pre tratamiento que presento la mayor pérdida de agua fue el combinado con un 66% y el menor fue el de microondas. Para esta parte de la investigación, no se midió en el tiempo la velocidad de pérdida de peso. Sólo se tomaron los datos iniciales y finales para cada proceso d DO, MW y DOMW.

Tabla 1. Pérdida de peso del mango en los Pre-tratamientos

Sin pretratamiento	Microondas	Deshidratación osmótica	Combinado
0,0 <sup>(a)</sup>	31,4±3,8 <sup>(b)</sup>	45,1±1,7 <sup>(c)</sup>	66,0±0,7 <sup>(d)</sup>

Según lo reportado por diferentes autores (Tabla 2), se puede evidenciar el efecto que tiene cada mecanismo sobre la pérdida de agua de las hojuelas de mango, la DO es un mecanismo que involucra procesos en los cuales tienen lugar la pérdida de agua y la ganancia de soluto a través de la membrana del material biológico. Estos fenómenos de transferencia de masa son afectados por factores como la presión, la temperatura, el soluto y la concentración de la solución, la relación jarabe/fruta, el grado de agitación del medio, entre otros. El MW es una tecnología no convencional de calentamiento, cuyo mecanismo implica el paso de ondas a través de la estructura de la hojuela de mango calentando desde el centro generando un perfil

de temperatura de mayor a menor del centro hacia fuera, logrando que el agua se caliente y migre hacia la superficie de la hojuela hasta que alcance la temperatura de evaporación.

Tabla 2. Pérdida de peso en pre-tratamiento de DO

Fruta	T° (°C)	°Brix	Tiempo	LxAnxA	PP	Referencia
Mango	T-amb	65	20h	2,5x2,5x 1	76,13%	Calderón y Jurado 2008
Mango	20	40	8h	1,5 ± 0,1 cm	17,06%	Zuluaga et al. 2010
Mango	22-25	67	12h	11 x1,0x 2,5m	42,3%	Villalpando et al. 2011
Mango	45	55	4h	1x1x0,5cm	46,68%	Zapata et al. 2012
Mango	30	65	60 min	26x26x5mm	16,71 %	Kejian et al. 2013
Piña	60	50	6 h	2 x 5 x 1	64,32 %	García et al. 2013
Mango	37-40	65	60 min	1x1x0,4 cm	45,11%	Este estudio

PP: Pérdida peso; LxAnxA: Largo, Ancho y Alto

En consecuencia, la diferencia de mecanismos se refleja en las propiedades organolépticas de las hojuelas después del pre-tratamiento, evidenciándose que las osmodeshidratadas tienen mayor brillo y estructura que las tratadas por microondas (Figura 4) debido a la ganancia de sólidos y el medio de solución azucarada en que se produce; además, las hojuelas tratadas con microondas se observan más aplanadas producto de que la estructura de la matriz de mango no es rígida y por lo tanto no compensa la salida del agua desde el interior. Cuando se combinaron los pre-tratamientos iniciando con la osmodeshidratación se redujeron los efectos negativos del microondas.

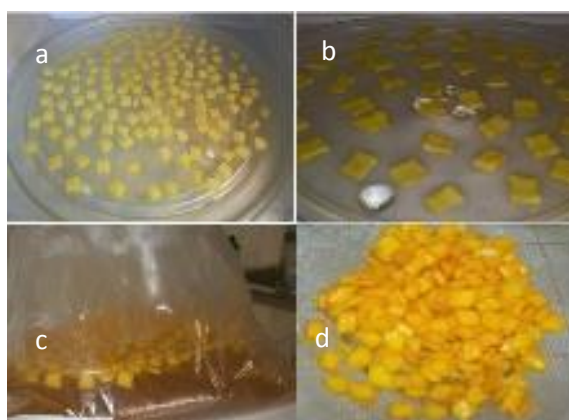


Figura 4. Hojuelas de mango Pre-tratadas.

Pre-tratamiento antes y después: (a,b): Microondas; (c,d): Deshidratación osmótica

Los resultados obtenidos indican que la transferencia de masa asociada a la pérdida de agua en las hojuelas de mango fue más rápida con el método en horno con un tiempo de  $105 \pm 20,2$  minutos que en el secado al sol con un tiempo de  $510 \pm 0$  minutos, generando mayor calor en la muestra, creando una mayor diferencia de presión de vapor entre el centro y la superficie debido al calentamiento.

#### 4.2.1. Curva de Pérdida de Peso

En las Figuras 5, 6 y 7 se puede observar que al aplicar un pre-tratamiento los tiempos de secado al sol disminuye, sin embargo, en el secado al sol los tiempos son mayores. En la Figura 5 se observa la rapidez de secado para el pre tratamiento con microondas, evidenciándose una disminución en los tiempos de secado y una mayor velocidad de pérdida de peso respecto al tratamiento de secado al sol y en horno.

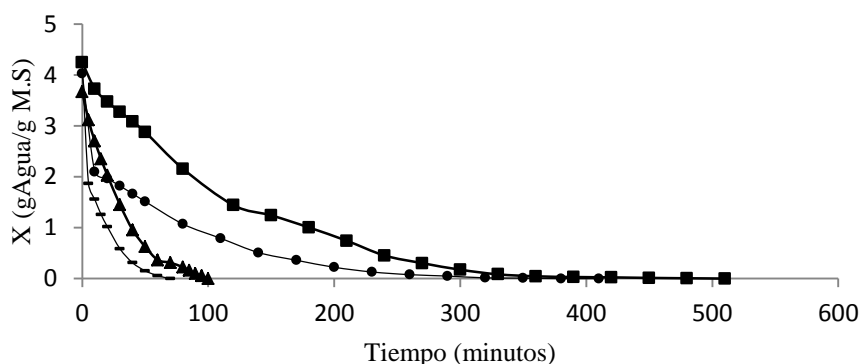


Figura 5. Rapidez de secado para hojuelas de mangos al aplicar el pretratamiento en microondas.

■ Sol; ▲ Horno; ● MW Sol; - MW E

Para secar las muestras de mango al sol se necesitaron  $510 \pm 0$  minutos cuando no se aplica el pretratamiento, mientras que para secar la misma muestra, que se le ha aplicado un pretratamiento por microondas, el tiempo disminuye a  $380 \pm 17,32$  minutos.

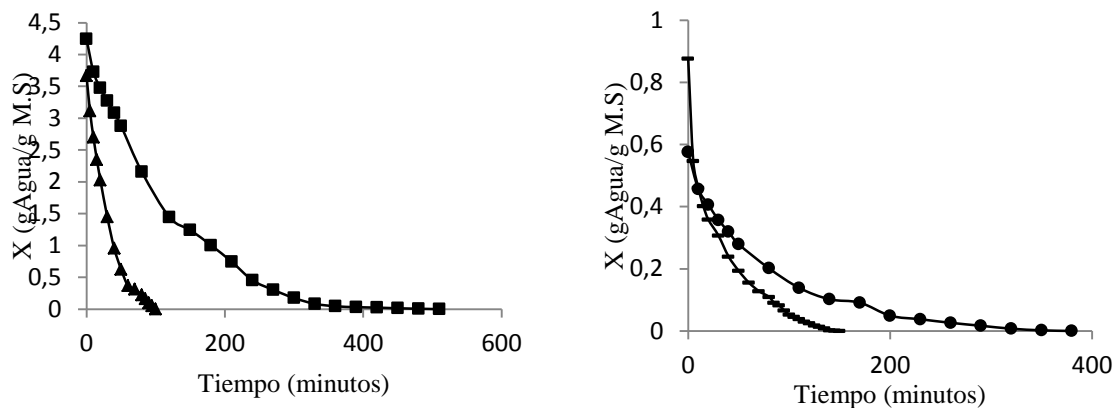


Figura 6. Rapidez de secado para hojuelas de mangos al aplicar el pretratamiento de osmodeshidratación.

■Sol; ▲Horno; ●DO Sol; -DO E

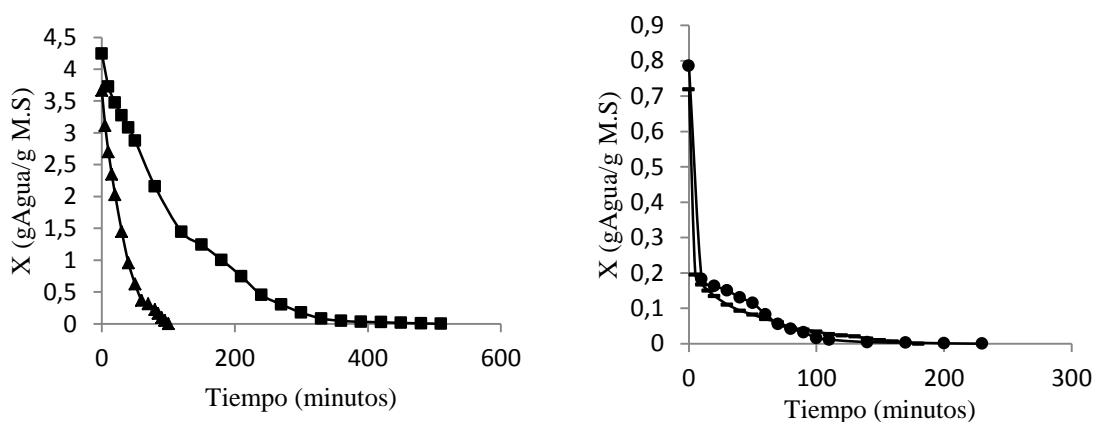


Figura 7. Rapidez de secado para hojuelas de mangos al aplicar los pretratamientos combinados de microondas y osmodeshidratación.

■sol; ▲Horno; ●DO MW Sol; -DO MW E.

Se puede observar que la curva de secado del mango sin pretratamiento cuando son secadas en horno desciende más rápidamente (105 minutos) que las muestras cuando se les aplica un pretratamiento de DO (150 minutos) (Ver Figura 7). Del mismo modo se observa como las curvas de DO secadas en horno descienden en forma más lenta, debido a la dificultad en la eliminación del agua por la formación de una corteza de la solución sacarifica del proceso de

DO en la superficie de las hojuelas. Sogi *et al.*, (2014), Nieto *et al.*, (2011), Mercer y Myhara (2009) y Zuluaga *et al.*, (2010) obtuvieron resultados similares para mango deshidratado osmóticamente y secadas a temperaturas de 70-60 °C (Ver Tabla 3).

Tabla 3. Pérdida de peso en pre tratamiento de secado

Fruta	Pretto	Secado	T°	Tiempo	PP (%)	Referencia
Mango	DO	Secador de bandeja	70	8h	14,43	Zuluaga <i>et al.</i> 2010
Mango	SP	Secador de bandeja	70	8h	10,20	Zuluaga <i>et al.</i> 2010
Mango cubos	SP	FD	- 20	-	77,02	Sogi <i>et al.</i> 2014
Mango cubos	SP	Bandeja	60	-	79,61	Sogi <i>et al.</i> 2014

SP: Sin Pretratamiento; FD: Freeze-Drying; PP: Pérdida de peso

La Tabla 4 muestra los tiempos en la cual las hojuelas de mango alcanzan una humedad del 10 %; se puede decir que para el método de secado al sol al aplicar un Pre-tratamiento en microondas, deshidratación osmótica o una combinación los tiempos de secado se ven reducidos en un 37,3 %, 57,8 % y 81,7 % respectivamente.

Tabla 4. Tiempos de secado hasta humedades del 10%

Método	Sol	Horno
<b>Pre-tratamiento</b>	Tiempo (h)	Tiempo (h)
Sin Pre-tratamiento	237,0 ± 4,6 <sup>(a)</sup>	75,0 ± 1,0 <sup>(e)</sup>
Microondas (MW)	148,6 ± 8,0 <sup>(b)</sup>	28,6 ± 1,2 <sup>(f)</sup>
Deshidratación Osmótica(DO)	100,0 ± 5,7 <sup>(c)</sup>	51,6 ± 7,6 <sup>(g)</sup>
Combinado (DOMW)	43,3 ± 5,7 <sup>(d)</sup>	24,0 ± 1,7 <sup>(h)</sup>

La DO retrasó el proceso de secado respecto a las otras muestras pre-tratadas, reduciendo solo un 31,2 % el tiempo de secado en horno, mientras que los otros Pre-tratamientos redujeron un



61,9 % (MW) y 68,0 % (DOMW) entre cada uno de ellos. Una explicación a esto se debe a que con la DO las hojuelas tienen una ganancia de solutos, la cual afecta el proceso de secado convencional dado a la cristalización de dichos solutos a nivel superficial. Resultados similares se obtuvieron al evaluar el efecto de deshidratación osmótica como pretratamiento al secado por aire caliente de cilantro y perejil (García *et al.*, 2010), en mango (Zuluaga *et al.*, 2010) y en papas combinando el secado convencional y por microondas (Della y Mascheroni 2011).

#### **4.3. CINÉTICA DEL SECADO DE LAS HOJUELAS DE MANGO**

La velocidad de secado es diferente, dependiendo del método de secado aplicado a las hojuelas de mangos, presentándose diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre el método de secado por horno y al sol, al igual que en los pretratamientos utilizados (Ver Anexo E).

En la Tabla 5, se observa que con el secado en horno se genera una velocidad inicial promedio de secado del orden de  $1071,54 \text{ Kg de agua h}^{-1} \text{ m}^{-2}$ , mientras que para el secado al sol la velocidad inicial de secado es de  $496,66 \text{ Kg de agua h}^{-1} \text{ m}^{-2}$ , cuando no se aplica ningún pretratamiento, presentándose diferencias significativas ( $p < 0,05$ ). Las velocidades de secado iniciales promedio más altas se generan cuando se aplica un pretratamiento de microondas y se secan los hojuela en horno y sol, siendo la del secado en horno la más alta.

Tabla 5. Valores de velocidad inicial de secado

<b>Pre-tratamiento</b>	<b>Horno</b>	<b>Sol</b>
	Kg de agua h <sup>-1</sup> m <sup>-2</sup>	
Sin pre-tratamiento	1071,52 <sup>f</sup>	496,66 <sup>b</sup>
Microondas	4440,11 <sup>h</sup>	1857,39 <sup>g</sup>
Deshidratación osmótica	634,19 <sup>d</sup>	113,93 <sup>a</sup>
Combinada (MW+DO)	1008,86 <sup>e</sup>	579,82 <sup>c</sup>

La velocidad de secado disminuyó al aplicar el pretratamiento de DO, como ha descrito Keqing (2009) cuando seco peras por aire caliente aplicando varios pretratamientos de Osmodeshidratación. Esto puede explicarse por la presencia de una capa superficial de células colapsadas por efecto del tratamiento osmótico en la muestra, que contribuirá a aumentar la resistencia al transporte de masa cerca de la interface de los experimentos de secado. Esta resistencia también puede verse afectada por la entrada de solutos durante el pretratamiento osmótico, principalmente en los espacios intercelulares.

En términos generales, dependiendo del método de secado la velocidad varía (Ver Figuras 8, 9, 10 y 11); por lo tanto, en función de los datos obtenidos se deduce que la cinética de secado de las hojuelas de mango es dependiente del método de secado empleado y del pretratamiento que se le realice a las muestras presentándose diferencias significativas en todos los tratamientos.

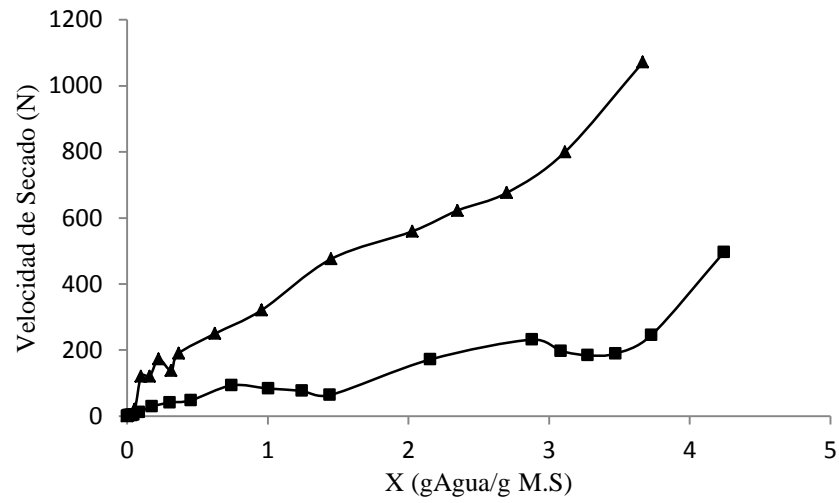


Figura 8. Velocidad de secado para hojuelas de mangos sin pre-tratamiento.

▲ Horno; ■ sol

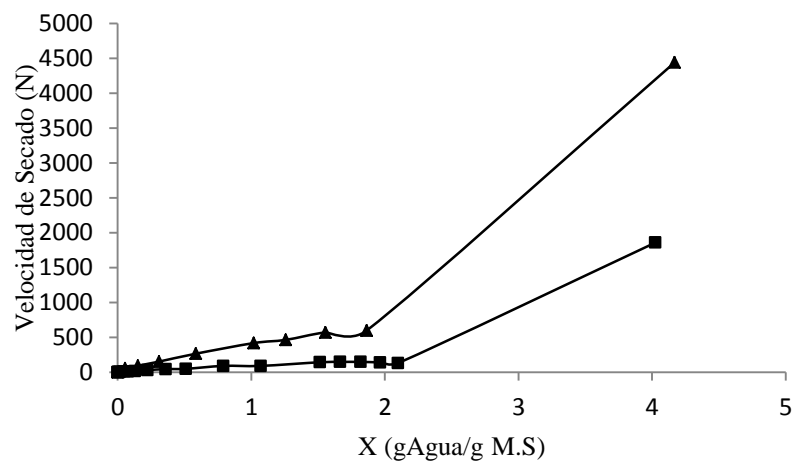


Figura 9. Velocidad de secado para hojuelas de mangos Pre-tratados en microondas.

▲ MW E; ■MW Sol.

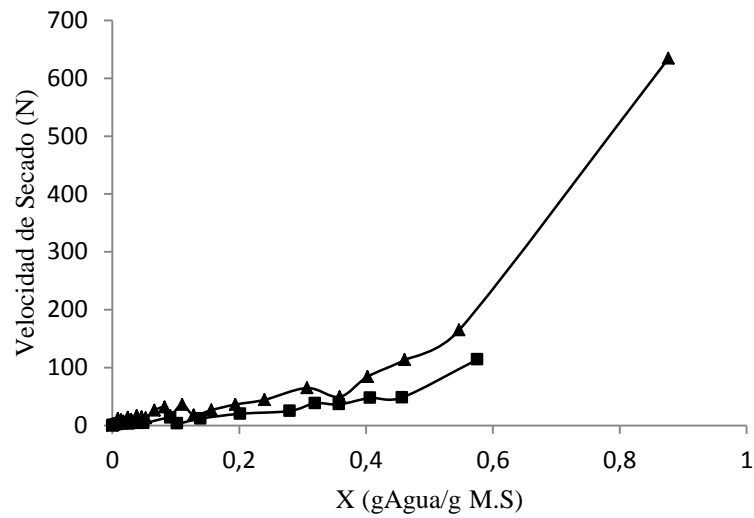


Figura 10. Velocidad de secado para hojuelas de mangos Pre-tratados con deshidratación osmótica.  
 ▲ DO E; ■ DO Sol.

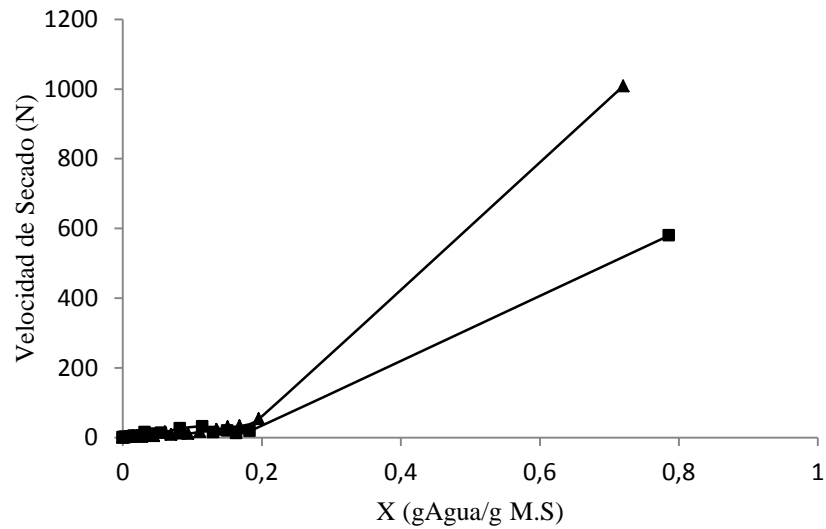


Figura 11. Velocidad de secado para hojuelas de mangos Pre-tratados con la combinación de microondas y deshidratación osmótica.  
 ▲ DO MW E; ■ DO MW Sol.

En todos los casos se puede decir que las velocidades de secado iniciales promedio son mayores cuando se utiliza el método de secado convencional (horno) que cuando las muestras son secadas al sol, esto debido a que la temperatura de secado en horno es mayor que la del sol. En las curvas de velocidad de secado se presenta una ausencia de los periodos de velocidad constante y un comportamiento muy variable en la zona de velocidad decreciente. Una primera fase donde el descenso de la humedad es parcialmente proporcional a la disminución de la velocidad de secado, observándose un endurecimiento superficial del sólido provocado por la desecación de la cara superior del producto. La segunda fase donde la pérdida de humedad es mucho más lenta que la de la fase anterior, lo que indica que el agua tiene gran dificultad para migrar hacia la superficie. Esta alta variabilidad implicó aumentos y disminuciones abruptas de la velocidad de secado, atribuibles a la escasa transferencia de calor y masa en algunos lapsos durante el secado, debido a la forma aplanada de las hojuelas. También se puede decir que la ausencia del periodo constante se debe a la aplicación de los pretratamientos, en donde el producto tuvo una pérdida de humedad considerable, presentando estos dos periodos ausentes en las gráficas de velocidad de secado. Estudios similares obtuvo Pineda *et al.*, (2009) cuando evaluó el efecto de las condiciones de secado sobre la cinética de deshidratación de las hojas de morena.

#### **4.3.1. Modelos matemáticos**

De los modelos estudiados el que mejor se ajustó a los datos experimentales fue el modelo logarítmico, describiendo satisfactoriamente las curvas de secado de las hojuelas de mango cuando no se les realiza ningún pretratamiento a las muestras con valores de  $R^2$  de 0,9996 y la suma de cuadrados de error de 0,0004 para el método en horno y para el sol con valores  $R^2$  de

0,9976 y suma de cuadrados de error de 0,0058. En la Tabla 6 se observan los parámetros del modelo logarítmico para el secado en estufa y al sol sin realizar pretratamientos, el valor del parámetro k es mayor para el secado en horno presentando un valor de 1,46, describiendo unas curvas con mayor pendiente que indica una mayor velocidad de secado; mientras que el valor de k para el secado al sol es de 0,46.

Tabla 6. Parámetros del modelo Logarítmico

MÈTODO	Horno			Sol		
	K (h <sup>-1</sup> )	a	c	K (h <sup>-1</sup> )	a	c
Sin pretratamiento	1,46	1,16	-0,16	0,47	1,02	-0,04

Lema *et al.*, (2009) estudiaron la cinética de secado en capa delgada en hojas y tallos de perejil a través del método convencional y aplicando doce modelos matemáticos encontró que el modelo de Verma *et al.*, y Logarítmico se ajustan muy bien a sus datos experimentales, sin embargo el modelo que mejor ajuste presentó fue el de Midilli and Kucuk; otros estudios señalan que los modelos de Page y Logaritmico en hojuelas (2,8 mm espesor) de mango secadas a 65 °C (Goyal *et al.*, 2006); Page, Modificado de Page, Midilli and Kucuk y Logaritmico en hojuelas de ajo secadas al sol, horno 70 °C y microondas a 700 W (Arslan y Musa 2010), Puente *et al.*, (2013) secaron limón ajustando al modelo logarítmico, Midilli and Kucuk mostro mejor ajuste en secado con microondas de pimienta verde (Darvishi *et al.*, 2014).

Cuando se le aplican pretratamientos a las muestras el modelo que mejor describe la cinética de secado es el modelo de Verma *et al.*, con valores de R<sup>2</sup> superiores a 99 % y la suma de cuadrados de error inferiores al 1 % para el secado en horno y al sol. Sin embargo el modelo

de Midilli and Kucuk presentó un  $R^2$  de 0,999 y una SSE de 0,0016 un poco mayor que el modelo de Verma *et al.*, para muestras con pretratamientos de deshidratación osmóticas secadas al sol (Ver Anexo F). En la Tabla 7 se muestran los valores de los parámetros del modelo de Verma *et al* para el secado en horno y sol al aplicar pretratamientos en microondas, deshidratación osmótica y la combinación de ambos.

Tabla 7. Parámetros del modelo de Verma et al.

Pre-tratamiento	Horno			Sol		
	K (h <sup>-1</sup> )	g (h <sup>-1</sup> )	a	K (h <sup>-1</sup> )	g (h <sup>-1</sup> )	a
Sin pre-tratamiento	1,49	0,04	1,17	0,71	0,71	278,76
Microondas	339,94	2,91	0,40	161,68	0,66	0,38
Deshidratación osmótica	28,86	1,38	0,34	0,68	12,33	0,87
Combinada (MW+DO)	42,44	1,09	0,72	178,79	1,19	0,68

En las Figuras 12, 13 14, y 15 se compara la razón de humedad (MR) obtenida experimentalmente con la del modelo que mejor se ajustó, observándose una tendencia experimento-modelo prácticamente igual, afirmando el buen ajuste del modelo.

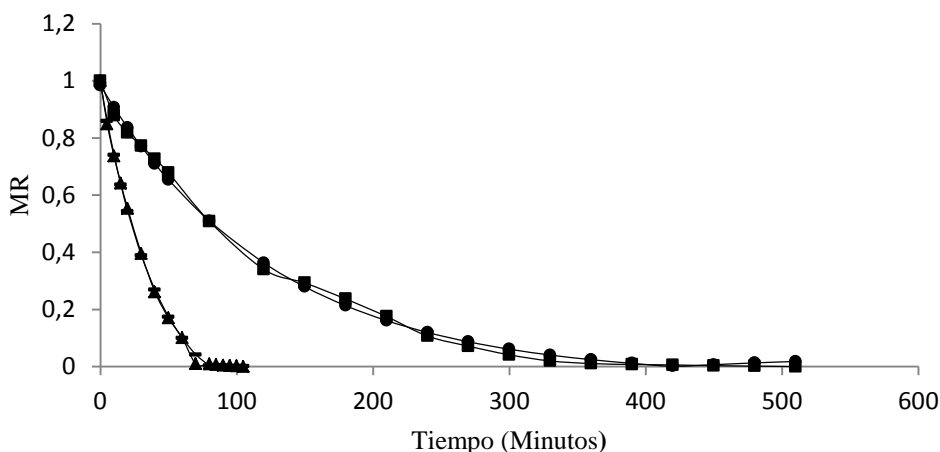


Figura 12. Comparación de la MR para datos experimentales y modelo logarítmico. Secado en horno y al sol sin aplicación de pretratamiento: ■ sol exp; ● Sol Modelo; ▲ Horno exp; y – Horno - Modelo

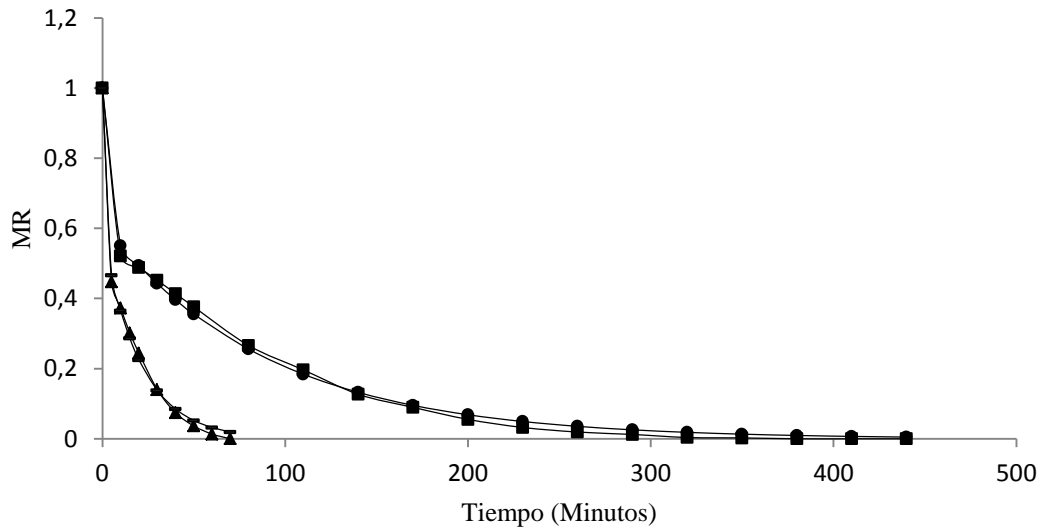


Figura 13. Comparación de la MR para datos experimentales y modelo de Verma *et al.*  
Secado en horno y al sol con pretratamiento de microondas: ■ MW sol exp; ● MW Sol Modelo; ▲ MW Horno exp; y – MW Horno Modelo.

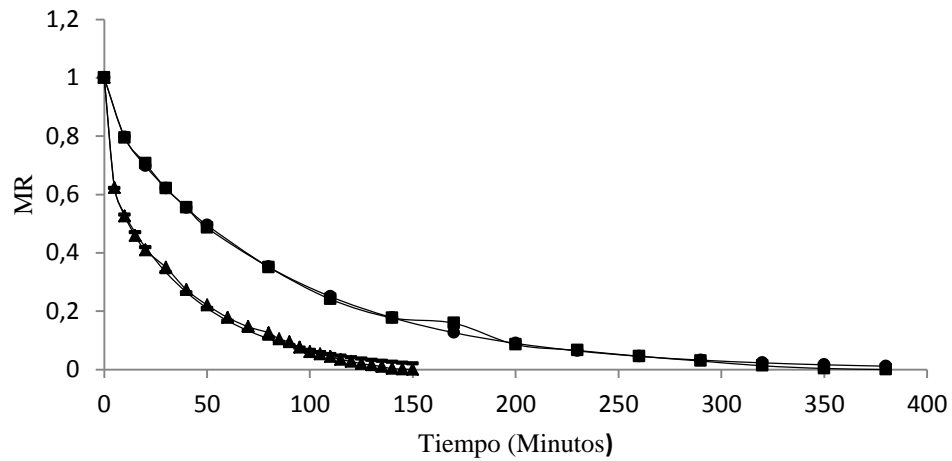


Figura 14. Comparación de la MR para datos experimentales y modelo de Verma *et al.*  
Secado en horno al sol con pretratamiento de deshidratación osmótica: ■ DO sol exp; ● DO Sol Modelo; ▲ DO Horno exp; y – DO Horno Modelo.



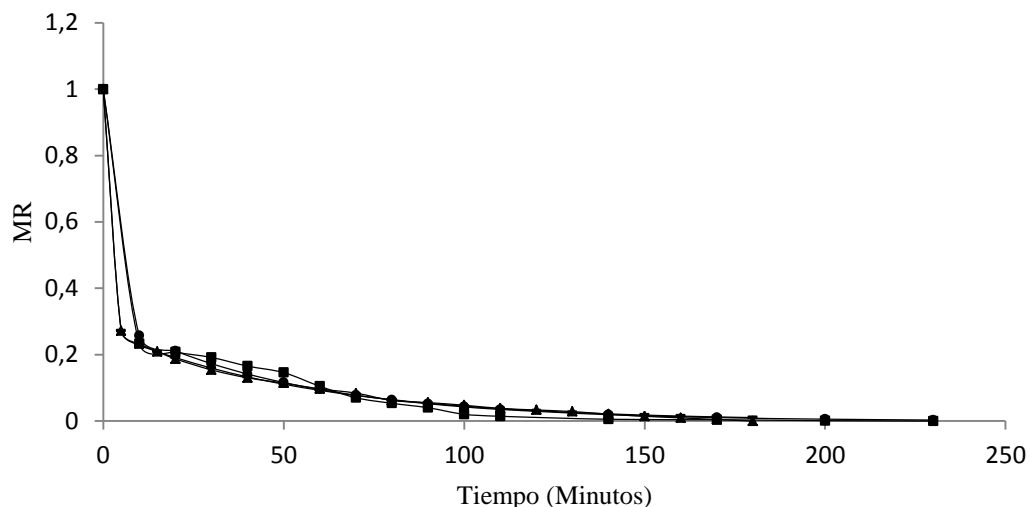


Figura 15. Comparación de la MR para datos experimentales y modelo de Verma et al.  
Secado en horno y al sol con pretratamiento combinado: ■ DOMW sol exp; ● DOMW Sol Modelo; ▲ DOMW horno exp; y — DOMW Horno Modelo.

#### 4.3.2. Difusividad efectiva

Los valores de difusividad presentaron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre el método de secado al sol y horno, al igual que entre los pre-tratamientos y el método de secado empleado, a excepción de los pre-tratamientos de MW y DO al secar las hojuelas al sol, los cuales no presentaron diferencias significativas ( $p > 0,05$ ) (Ver Anexo G).

La Tabla 8 presenta los valores de difusividad, siendo mayores para el secado en horno en comparación a los del sol, lo que demuestra una disminución de las resistencias internas del solido cuando se utiliza este método de secado, una explicación de ese aumento se puede deber a la temperatura que se utiliza en el secado en horno, la cual es mayor que las temperaturas que se alcanzan cuando se seca al sol.

Tabla 8. Valores de difusividad efectiva

Pre-tratamiento	Horno	Sol
	$D_{\text{eff}}(\text{m}^2 \text{s}^{-1})$	$D_{\text{eff}}(\text{m}^2 \text{s}^{-1})$
Sin pre-tratamiento	$7,95 \times 10^{-09} \text{ (d)}$	$3,69 \times 10^{-10} \text{ (a)}$
Microondas	$1,34 \times 10^{-08} \text{ (e)}$	$5,09 \times 10^{-10} \text{ (a)}$
Deshidratación osmótica	$3,24 \times 10^{-09} \text{ (c)}$	$5,17 \times 10^{-10} \text{ (a)}$
Combinada (MW+DO)	$1,79 \times 10^{-09} \text{ (b)}$	$1,91 \times 10^{-09} \text{ (b)}$

Por su parte se puede ver que el valor de la mayor difusividad fue el del secado en horno cuando se aplica el pre- tratamiento por microondas, el cual representa un valor de  $1,33 \times 10^{-8} \text{ m}^2 \text{s}^{-1}$  y el menor valor está representado por el secado al sol cuando no se aplica ningún pre-tratamiento, valor que corresponde a  $3,69 \times 10^{-10} \text{ m}^2 \text{s}^{-1}$  presentándose diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre estos. Podemos ver que los valores de difusividad se encuentran comprendido en valores desde  $1,33 \times 10^{-8} \text{ m}^2 \text{s}^{-1}$  hasta  $3,69 \times 10^{-10} \text{ m}^2 \text{s}^{-1}$ , valores reportados por Goyal *et al.*, (2006) de  $3,19 \times 10^{-10} \text{ m}^2 \text{s}^{-1}$  en mango, Corzo *et al.*, (2008) para mango verde  $1,15 \pm 0,42 \times 10^{-10} \text{ m}^2 \text{s}^{-1}$  y mango medio maduro  $3,62 \pm 0,59 \times 10^{-10} \text{ m}^2 \text{s}^{-1}$  secados a  $70^\circ \text{C}$ ; hojuelas de mango ( $21 \times 70 \times 150 \text{ mm}$ ) con aire caliente a  $70^\circ \text{C}$  para  $1,714 \times 10^{-10} \text{ m}^2 \text{s}^{-1}$  (Janjai *et al.*, 2008); en otros vegetales Zogzas *et al.*, (2010) en pera  $9,6 \times 10^{-10} \text{ m}^2 \text{s}^{-1}$ , en fresas por Park *et al.*, (2009), Arslan y Musa (2010) secando al sol y horno a  $70^\circ \text{C}$   $8,339 \times 10^{-10} \text{ m}^2 \text{s}^{-1}$  y  $1,554 \times 10^{-9} \text{ m}^2 \text{s}^{-1}$  respectivamente; lonjas de mango de 1 y 2 mm de grueso, secando con ventana refractaria  $4,4 \times 10^{-10} \text{ m}^2 \text{s}^{-1}$  y  $1,56 \times 10^{-10} \text{ m}^2 \text{s}^{-1}$  respectivamente (Ochoa *et al.*, 2012).

#### 4.4. PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS DE LAS HOJUELAS DE MANGO DESHIDRATADO.

##### 4.4.1. Color

El efecto de los tratamientos sobre el color de las hojuelas de mango es observable a través de los registros fotográficos (Figura 16) y donde el color amarillo característico del mango maduro presenta diferentes tonalidades que lo hacen más o menos atractivo. Los tratamientos sometidos a la DO en general adquieren un brillo y solidez en el color amarillo, mientras que las tratadas al MW son más opacas. Lo cual indica que los pre-tratamientos influyeron en los cambios de color de las hojuelas.

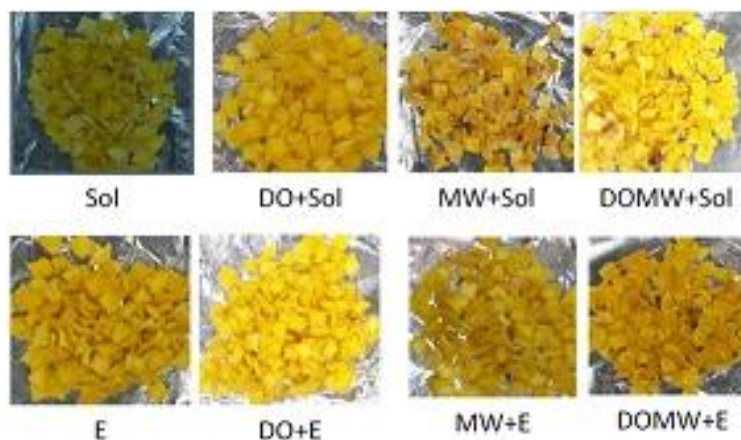


Figura 16. Color en hojuelas de mango deshidratadas

En cuanto a los parámetros CIELab\* todos presentaron diferencias significativas en los tratamientos ( $p < 0,05$ ) (Ver anexo I). Para el parámetro de luminosidad (L) existe una diferencia significativa de los tratamientos con respecto al mango fresco (74,19); así, el tratamiento de MWSol presentó la menor L (50,96). En el caso de  $a^*$  (verde a rojo) no hay diferencia significativamente entre los tratamientos y el mango fresco (11,45), siendo el menor

valor DOSol (9,36). En b\* (azul amarillo) existen diferencias significativas entre tratamientos y mango fresco (57,023). De acuerdo a estos resultados, el valor de b\* es menor en MWSol (36,19). En general, el mango fresco presenta un color amarillo intenso, pero al aplicar los tratamientos los parámetro b\* y la L disminuyen; mientras que a\* no varió, indicando que no hay un efecto de quemado durante el proceso de secado. El tratamiento que más afectó las características de las hojuelas de mango respecto al mango fresco fue el Pre tratamiento de microondas y el secado solar (MWSol). Los cambios en los parámetros de color en diferentes estudios son debidos principalmente al índice de madurez, las condiciones de proceso y las características físicas; sin embargo, los parámetros del color más visiblemente afectados son L y b al igual que en otros estudios realizados (Tabla 9).

Tabla 9. Valores de CIELab\*

Fruta	Pretto	T°C	L	a*	b*	Referencia
Mango	AC/120min	80	52,97	8,2	42,18	Azeredo et al. (2006)
Mango	AC/24h	60	67,68	19,42	65,97	Chen et al. (2007)
Mango	SP	70	64,97	15,38	54,27	Zuluaga et al. 2010
Mango	DO	70	57,09	16,19	41,09	Zuluaga et al. 2010
Mango fresco			74,19	11,45	57,023	Este estudio

SP: Sin Pretratamiento; AC: Aire Caliente; DO: Deshidratación Osmótica.

El efecto del proceso de deshidratación en la superficie del mango se ve reflejado por los cambios y pérdida de color (Gómez 2013). La oxidación extensiva provoca la pérdida en carotenoides y que es incrementada por el prolongado proceso de deshidratación (Zuluaga et al. 2010). La cuantificaron de la pérdida de  $\beta$ -caroteno en frutos de uchuva luego de una DO seguido de secado en bandeja, se comparó con los contenidos de  $\beta$ -caroteno de la uchuva inicial y final obteniendo un 80% de pérdida por lixiviación del pigmento de la fruta hacia la solución osmótica por efecto de los gradientes de concentración (Castro et al. 2008). La concentración de los agentes osmóticos es un factor que afecta el proceso (Phisut et al. 2013) y

se han observado diferencias en el color y otros atributos sensoriales, comparando mango (Tommy Atkins) fresco e impregnado al vacío con sales de calcio a distintas concentraciones y mezclas (Ostos. et al. 2012). La deshidratación puede incrementar la concentración de carotenoides (Nimmanpipug y Therdthai 2013; Phisut et al. 2013) causando un efecto contrario en el color del producto final.

#### 4.4.2. Evaluación sensorial

La evaluación general de la apariencia de las hojuelas indica que existe una diferencia estadísticamente significativa ( $p < 0,05$ ) entre las medianas de los 8 tratamientos cuando se aplicó el test de ordenamiento de Friedman (Ver Anexo J). Acorde a los resultados el tratamiento que mejor preferencia por los consumidores (Figura 17) tuvo, fue el DOE y DOSol, y el menor fue MWSol y MWE.

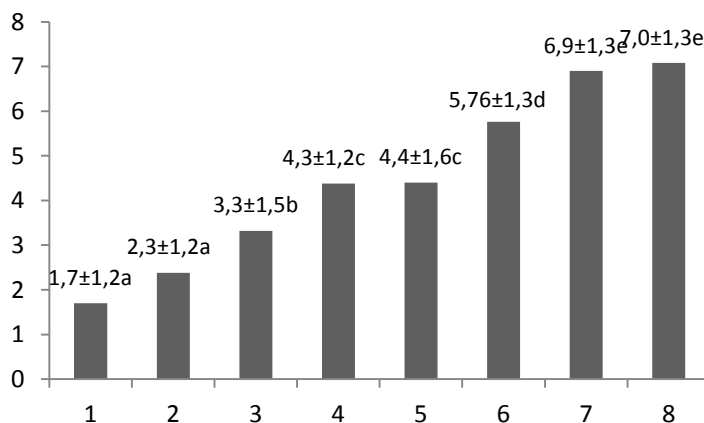


Figura 17. Evaluación sensorial de ordenamiento del mango deshidratado.

1: MWSol; 2:MWE; 3: DOMWE; 4:E; 5: DOMWSol; 6:Sol; 7:DOSol; 8:DOE

El criterio de los consumidores al considerar que la muestra tratada MWSol es la de menor aceptación, está en concordancia con el decremento de los parámetros CIELab determinados instrumentalmente al compararlos con el mango fresco, lo que indica que el consumidor al elegir siempre compara con el producto fresco, como se evidencia en las hojuelas de mango pretratadas con deshidratación osmótica que fueron las de mayor preferencia que tiende a ser más parecida al mango fresco.

La apariencia es el atributo que más causa impacto a la hora de escoger por parte del consumidor, siendo el color la característica más relevante, constituyéndose en el primer criterio para su aceptación o rechazo. El color está relacionado con la calidad, el índice de madurez y el efecto del proceso de deshidratación. El consumidor espera un determinado color para cada alimento y cualquier alteración en éste parámetro puede influir en su aceptabilidad (Resende *et al.*, 2004).

## CONCLUSIONES

Las características fisicoquímicas de las hojuelas de mango fresco seleccionado en los grados 3 al 5 de estado de madurez son adecuadas para aplicarle los procesos de secado establecidos en el estudio.

Los Pre-tratamientos de deshidratación osmótica, microondas y combinado extrajeron un alto porcentaje de humedad en las hojuelas reduciendo los tiempos de secado al sol y en horno. El pre-tratamiento combinado es el que más retiro agua en un 66,0% y redujo los tiempos de secado en un 68% cuando se utiliza el método de horno y un 81% con el método al sol.

Al deshidratar las hojuelas de mango *tommy atkins* pre-tratadas se evidencia que la pérdida de agua en las hojuelas de mango fue más rápida con el método en horno con un tiempo de  $105 \pm 20,2$  h, con respecto al secado al sol con un tiempo de  $510 \pm 0$  h

El modelo logarítmico describe satisfactoriamente las curvas de secado de las hojuelas de mango cuando no se les realiza ningún pretratamiento a las muestras ( $R^2$  de 0,9996) para el método en horno y para el sol ( $R^2$  de 0,9976), para las muestras pre-tratadas el mejor fue el modelo de Vermet et al. con valores de  $R^2 > 0,99$

Los tratamientos con deshidratación osmótica fueron los que mejor conservaron la apariencia de las hojuelas de mango. El proceso de secado Microondas - Sol fue el de menor aceptación por los consumidores y de mayor decremento de los parámetros de color, traduciéndose en el

tratamiento que más deterioro las características de las hojuelas de mango respecto al mango fresco.



## BIBLIOGRAFIA

**Agronet. 2012.** Situación actual y perspectivas de la cadena productiva del mango en Colombia. Agronet. Bogotá, 13p.

**Alibas, O., Akbudak, B. y Akbudak, N. 2007.** Microwave drying characteristics of spinach, *Journal of Food Engineering* 78(2): 577-583

**Anacafe. 2012.** Programa de diversificación de ingresos de la empresa cafetalera. Cultivo de mango. <http://portal.anacafe.org/Portal/Documents/Documents/2004-12/33/14/Cultivo%20de%20Mango.pdf>. [Accedido: 06/01/2014].

**Arslan, D. y Musa, M. 2010.** Study the effect of sun, oven and microwave drying on quality of onion slices. *Food Science and Technology* 43: 1121-1127

**Asohofrucol Corpoica. 2013.** Modelo tecnológico para el cultivo de mango en el valle del Alto Magdalena en el departamento del Tolima. Asohofrucol y Corpoica. Bogotá, 21p.

**Azeredo, H., Brito, E., Moreira, G., Fariás, Y. y Bruno, L. 2006.** Effect of drying and storage time on the physico-chemical properties of mango leathers. *International Journal of Food Science and Technology* 41: 635–638.

**Azoubel y Da Silva. 2008.** Optimisation of Osmotic Dehydration of ‘*Tommy atkins*’ Mango Fruit. *International Journal of Food Science and Technology* 43: 1276–1280.

**Barat, I., ChiratAnd P, F.2001.**Effect of osmotic solution concentration, temperature, and vacuum impregnation pretreatment on osmotic kinetics of apple slices. *Food Sci. Technol Int* 7(5):451-456.

**Bohm, V., Kuhnert, S., Rohm, H. y Scholze, G. 2006.** Improving the nutritional quality of microwave-vacuum dried strawberries: a preliminary study, *Food SciTechnolInt* 12: 67–75.

**Calderón, J. y Jurado, J. 2008.** Conservación de babaco (*carica pentágona*), mango (*magnifera indica*) y pepino dulce (*solanum muricatum*) mediante deshidratación osmótica directa. Tesis de licenciatura de la Universidad Técnica del Norte. Ecuador

**Caparino, O.A., Tang, J., Nindo, C.I., Sablani, S.S., Powers, J.R. y Fellman, J.K. 2012.** Effect of drying methods on the physical properties and microstructures of mango (Philippine ‘Carabao’ var.) powder. *Journal of Food Engineering* 111:135–148.

**Castro, A., Rodriguez, L. y Vargas, E. 2008.** Secado de uchuva (*Physalis peruviana* L.) por aire caliente con pretratamiento de osmodeshidratación. *Vitae, Revista de la Facultad de Química Farmacéutica (Universidad de Antioquia, Colombia)* 15(2):226-231.

**Chen, J., Tai, C. y Chen, B. 2007.** Effects of different drying treatments on the stability of carotenoids in Taiwanese mango (*Mangifera indica* L.). *Food Chemistry* 100: 1005–1010.

**Corzo, O., Bracho, N., Alvarez, C., Rivas, V., Rojas, Y. 2008.** DETERMINING THE MOISTURE TRANSFER PARAMETERS DURING THE AIR-DRYING OF MANGO SLICES USING BIOT–DINCER NUMBERS CORRELATION. *Journal of Food Process Engineering* 31: 853–873

**Darvishia, H., Rezaie, A., Asgharib, A., Azadbakhtb, M. y Najafic, G. 2014.** Study of the drying kinetics of pepper. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences* 13: 130–138

**Della, P. Y Mascheroni, R. 2011.** Deshidratación de papas por el método combinado de secado: deshidratación osmótica, secado por microondas y convección por aire caliente. *Revista proyecciones* 9(2): 12-25.

**Derya, A., Mus, M. y Okyay, H. 2010.** Evaluation of drying methods with respect to drying parameters, some nutritional and colour characteristics of peppermint (*Mentha x piperita* L.), *Energy Conversion and Management* 51 (12): 2769-2775.

**Erle, U. 2005.** Drying using microwave processing, in: Schubert, H. and Regier, M. (eds). *The Microwave Processing of Foods*, (Woodhead Publishing, Cambridge, UK) 142–152.

**Euromonitor internacional. 2014** <http://www.industriaalimenticia.com/articles/86244-mercado-de-snacks-mas-saludables-crece-a-nivel-mundial> [Accedido: 06/01/2015].

**Falade, k. y Abbo, E. 2007.** Air-drying and rehydration characteristics of date palm (*Phoenix dactylifera* L.) fruits. *Journal of Food Engineering* 79: 724–730

**Infoagro. 2013.** Mango, Mangos. [http://www.infoagro.com/frutas/frutas\\_tropicales/mango2](http://www.infoagro.com/frutas/frutas_tropicales/mango2). [Accedido: 06/01/2014].

**García, A., Muñiz, S., Hernández, A., González, L. y Fernández, D. 2013.** Análisis comparativo de la cinética de deshidratación Osmótica y por Flujo de Aire Caliente de la Piña (*Ananas Comosus*, variedad Cayena lisa). *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias* 22(1):62-69)

**García, M; Rusel, J., Rodriguez, E. y Vargas, E. 2010.** Aprovechamiento del cilantro (*Coriandrum sativum*) y perejil (*Petroselinum crispum*) aplicando procesos combinados de deshidratación. Universidad de Bogotá, Jorge Tadeo Lozano. Facultad de Ciencias Naturales e Ingenierías. Resultados de investigación 3(2): 9-26.

**García, S., Sandoval, A., Forero, F., Salamanca, G. 2009.** Atributos de calidad del mango criollo para la agroindustria. Boletín técnico, centro de investigación Natalma, Espinal, Tolima.

**Gomez, R. 2013.** Evaluación sensorial de láminas de mango (*Mangifera indica* L. cv. Keitt) fortificadas con cloruro de calcio mediante deshidratación osmótica con pulsos de vacío. Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos 4 (2): 157-169.

**Goyal, R., Kingsly, A., Manikantan. y Llyas, S. 2006.** Thin-layer Drying Kinetics of Raw Mango Slices. Biosystems Engineering 95 (1): 43–49

**Janjaia, S., Lamlerta, N., Intaweea, P., Mahayotheeb, B., Haewsungcharernc, M., Balad, B. Y Mu”Llere, J. 2008.** Finite element simulation of drying of mango. Biosystems Engineering 99: 523 – 531

**Keqing, X. 2009.** Optimización por aire caliente de pera (Variedad blanquilla). Tesis Doctor en ingeniería. Universidad politécnica de valencia. Valencia, España.

**Kowalski, s. y Mierzwa, d. 2013.** Numerical analysis of drying kinetics for shrinkable products such as fruits and vegetables. Journal of food engineering 114: 522–529

**Koyuncu, T., Pinar, Y. y Lule, 2007.** Convective drying characteristics of azarole red (*Crataegus monogyna* Jacq) and yellow (*Crataegus aronia* Bosc.) fruits. Journal of Food Engineering 78: 1471–1475

**Krokida, M.K. y Philippopoulos, C. 2006.** Volatility of apples during air and freeze drying, Journal of Food Engineering 76(2): 135–141.

**Lema, A., Pontin, M., Sanmartino, A., Ziletti, M. y Martinello, M. 2009.** Características del proceso de secado en capa delgada del perejil. Revista Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente 11(8): 75-82.

**Mercer, D. y Myhara, R. 2009.** Improving the Operation of a Commercial Mango Dryer. Memory I. Using Food Science and Technology to Improve Nutrition and Promote National Development. Ontario, Canadá 2009, p1-12.

**Nemes, S., Sivakumar, S., Gariepy, Y. y Raghavan, G. 2005.** Microwave vacuum drying of banana slices under different power levels. Proceedings of the 3rd Inter-American Drying Conference, Montreal, Canada.

**Nieto, A., Castro, M. y Alzadora, S. 2011.** Kinetics of moisture transfer during air drying of blanched and/or osmotically dehydrated mango. Journal of Food Process Engineering 50(1): 175-185.

**Nimmanpipug, N. y Therdthai, N. 2013.** Effect of osmotic dehydration time on hot air drying and microwave vacuum drying of papaya. Food and Applied Bioscience Journal 1(1):1-10.

**Ochoa, C., Quintero, P., Ayala, A. y Ortiz, M. 2012.** Drying characteristics of mango slices using the Refractance Window™ technique. Journal of Food engineering 109: 69–75.

**Orsat, V., Yang, V. y Raghavan, G. 2007.** Microwave-Assisted Drying of Biomaterials, Food and Bioproducts Processing 85(3): 255-263

**Ostos-A., S., Díaz, A. y Suárez, H. 2012.** Evaluación de diferentes condiciones de proceso en la fortificación de mango (Tommy Atkins) con calcio mediante impregnación a vacío. Revista Chilena de Nutrición 39(2):181-190.

**Oviedo, J.; Franco, A. y Quintero, A. 2005.** Estudio preliminar de la deshidratación osmótica de mango (*mangifera indica* L.), como pretratamiento para su conservación. XXI Congreso Interamericano de Ingeniería Química. Lima, Perú, 24 al 27 de abril, 2005. [http://www.ciiq.org/varios/peru\\_2005/esp/posters](http://www.ciiq.org/varios/peru_2005/esp/posters). [Accedido: 01/13/2014].

**Park, K., Yado, M. y Brod, F. 2009.** Drying studies of sliced pear Barlett (*Pyrus* sp.). Ciencia e Tecnología de Alimentos 21(3): 288-292.

**Pereira, W., Silva, C., Gama, F. y Palmeira, J. 2014.** Mathematical models to describe thin-layer drying and to determine drying rate of whole bananas. Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences 13: 67–74

**Phisut, N., Rattanawadee, M. y Aekkasak, K. 2013.** Effect of osmotic dehydration process on the physical, chemical and sensory properties of osmo-dried cantaloupe. International Food Research Journal 20(1):189-196.

**Pineda, M., Chacón, A. y Cordero, G. 2009.** Efecto de las condiciones de secado sobre la cinética de deshidratación de las hojas de morena (*Morus alba*). Revista Agronomía Mesoamericana 20(2): 275-283.

**Puente, L., Echagaray, E., Castro, E. y Di Scala, K. 2013.** Aplicación de modelos matemáticos al proceso de secado asistido por infrarrojos de descartes de limón. Revista Dyna 80(181): 91-97.

**Raghavan, G.S.V., Rennie, T.J., Sunjka, P.S., Orsat, V., Phaphuangwittayakul, W. y Terdtoon, P. 2005.** Overview of new techniques for drying biological materials with emphasis on energy aspects, *Brazilian Journal of Chemical Engineering* 22(2):195–201.

**Resende, J., Coelho, A., De Castro, E., Saggin-Júnior, O., Do Nascimento, T. y Benedetti, B. 2004.** Modificações sensoriais em cenoura minimamente processada e armazenada sob refrigeração. *Horticultura Brasileira* 22(1):147-150.

**Sharma, G. y Suresh P. 2004.** Effective moisture diffusivity of garlic cloves undergoing microwave-convective drying, *Journal of Food Engineering* 65(4): 609-617.

**Sogi, D. S., et al. 2014.** Total phenolics, carotenoids and antioxidant properties of Tommy Atkins mango cubes as affected by drying techniques, *LWT - Food Science and Technology*, <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2014.04.015>

**Soysal, Y. 2004.** Microwave drying characteristics of parsley. *Biosystems Engineering* 89(2): 167–173.

**Soysal, Y., Oztekin, S. y Eren, O. 2006.** Microwave drying of parsley modeling, kinetics and energy aspects, *Biosystems Engineering* 93(4): 403–413.

**Stamatios, J., Babalis, Vassilios, G. y Belessiotis. 2004.** Influence of the drying conditions on the drying constants and moisture diffusivity during the thin-layer drying of figs, *Journal of Food Engineering* 65(3): 449-458.

**Togrul, I. y Pehlivan, D. 2004.** Modelling of thin layer drying kinetics of some fruits under open-air sun drying process. *Journal of Food Engineering* 65: 413–425

**Tulasidas, T.N., Raghavan, G.S.V. y Mujumdar, A.S., 1995a.** Microwave drying of grapes in a single mode cavity at 2450 MHz. I. Drying kinetics, *Drying Technology* 13(8/9):1949–1971.

**Tulasidas, T., Raghavan, G. y Mujumdar, A. 1995b.** Microwave drying of grapes in a single mode cavity at 2450 MHz–II: quality and energy aspects, *Drying Technology* 13(8/9):1973–1992.

**Valera, A., Zambrano, J., Materano, W., Quintero, I. 2005.** Efectos de la concentración de soluto y la relación fruta/jarabe sobre la deshidratación osmótica de mango en cilindros. *Agronomía tropical* Vol. 55

**VijayaVenkataRaman, S., Iniyan S., Goic, R. 2012.** A review of solar drying technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 16:2652– 2670

**Villalpando, J., Herrera, E., Amaya-Delgado, L., M.A. Godoy, M., Mateos, J., Rodríguez, S., et al. 2011.** Effect of Complementary Microwave Drying on Three Shapes of Mango Slices. *Revista Mexicana de Ingeniería Química* 10(2): 281-290

**Zapata, J. y Montoya, A. 2012.** Deshidratación osmótica de láminas de mango *cv. Tommy atkins* aplicando metodología de superficies de respuesta. Universidad de Antioquia. *Revista de Facultad de Ciencias Agrarias* 65(1): 6507-6518.

**Zazueta, J, Quintero. R, Silveira. G y Yahia. E. 1994.** Deshidratación Osmótica de Hojuelas de Mango Como Pretratamiento al Deshidratado con Aire Caliente. *Revista Tecnologia Alimentaria* 29(5-6): 27-33.

**Zheng-Wei Cui., Shi-Ying Xu y Da-Wen Sun. 2004.** Microwave-vacuum drying kinetics of carrot slices, *Journal of Food Engineering* 65(2): 157-164.

**Zogzas, N., Maroulis, Z. y Marinos-Kouris, D. 2010.** Moisture diffusivity data compilation in foodstuffs. *DryingTechnology* 14(10): 2225-2253.

**Zotarelli, M., Almeida,B., Borges, J. 2012.** A convective multi-flash drying process for producing dehydrated crispy fruits. *Journal of Food Engineering* 108: 523–531

**Zuluaga J., Cortes, M., Rodríguez, E. 2010.** Evaluación de las características físicas de mango deshidratado aplicando secado por aire caliente y deshidratación osmótica. Universidad Nacional de Colombia, Medellín. *Revista de la Facultad de Ingeniería* 25(4):127–135.

## **ANEXOS**

## Anexo A. Modelos Matemáticos de ajuste para secado

NOMBRE DEL MODELO	ECUACIÓN
NEWTON	$MR = \text{Exp}(-kt)$
PAGE	$MR = \text{Exp}(-kt^y)$
PAGE MODIFICADO	$MR = \text{Exp}\left[(-kt)^y\right]$
HENDERSON Y PABIS	$MR = a[\text{Exp}(-kt)]$
LOGARÍTMICO	$MR = a[\text{Exp}(-kt)] + c$
WANG AND SINGH (THOMSON)	$MR = 1 + at + bt^2 \quad t = a \ln(MR) + b[\ln(MR)]^2$
APROXIMATION IF DIFFUSION (DIFUSIÓN)	$MR = a[\text{Exp}(-kt)] + (1-a)[\text{Exp}(-kbt)]$
DOS TÉRMINOS	$MR = a[\text{Exp}(-k_0t)] + b[\text{Exp}(-k_1t)]$
MIDILLI AND KUCUK	$MR = a[\text{Exp}(-kt^n)] + bt$
MODIFICADO DE HENDERSON AND PABIS	$MR = a[\text{Exp}(-kt)] + b[\text{Exp}(-gt)] + c[\text{Exp}(-ht)]$
TWOTERMEXPONENTIAL	$MR = a[\text{Exp}(-kt)] + (1-a)[\text{Exp}(-kat)]$
VERMA et al.	$MR = a[\text{Exp}(-kt)] + (1-a)[\text{Exp}(-gt)]$
MODIFIED PAGE EQUATION-II	$MR = \text{Exp}\left[-k\left(\frac{t}{L^2}\right)^n\right]$



## Anexo B. Ficha técnica del equipo ColorFlex® EZ

### **SPECIFICATIONS** ColorFlex® EZ

#### **MEASUREMENT**

**Measurement Principle:** Port up or Port forward dual-beam spectrophotometer

**Geometry:** Directional annular 45° illumination / 0° viewing

**Spectrophotometer:** Sealed optics; 256-element diode array and a high resolution concave holographic grating

**Port Diameter/View Diameter:** 31.8 mm (1.25 in) illuminated/ 25.4 mm (1 in) measured

**Specular Component:** Excluded

**Spectral Range:** 400 nm - 700 nm

**Spectral Resolution:** < 3 nm

**Effective Bandwidth:** 10 nm equivalent triangular

**Reporting Interval:** 10 nm

**Photometric Range:** 0 to 150 %

**Light Source:** Pulsed Xenon Lamp

**Flashes per Measurement:** 1 flash

**Lamp Life:** > 1 million flashes

**Measurement Time:** < 1 second from button push to measurement

2 seconds from button push to data display

#### **Minimum Interval**

**between Measurements:** 3 seconds

**Standards Conformance:** CIE 15:2004, ISO 7724/1, ASTM E1164, DIN 5033, Teil 7 and JIS Z 8722 Condition C

**Standards Traceability:** Instrument standard assignment in accordance with National Institute

of Standards and Technology (NIST) following practices described in CIE

Publication 44 and ASTM E259.

#### **PERFORMANCE**

**Inter-Instrument Agreement:**  $\Delta E^* \leq 0.15$  CIE  $L^*a^*b^*$  (Avg) on BCRA II Tile Set

$\Delta E^* \leq 0.25$  CIE L\*a\*b\* (Max) on BCRA II Tile Set

**Colorimetric Repeatability:**  $\Delta E^* \leq 0.05$  CIE L\*a\*b\* on white tile (20 Readings).

## FIRMWARE

**Data Views:** Color Data, Color Difference Data, Tristimulus Color Plot, Spectral Data, Spectral Difference Data, Spectral Plot, Spectral Difference Plot

**USB Flash Drive Features:** Backup of Setups and Data, Setup Transfer to Multiple Units, Data Export to Excel

**Other Features:** Pass/Fail, Average Multiple Readings, Search for Closest Standard

**Illuminants:** A, C, D50, D55, D65, D75, F2, F7, F11

**Observers:** 2° and 10°

**Color Scales:** CIE L\*a\*b\*, Hunter Lab, CIE L\*C\*h, CIE Yxy, CIE XYZ

**Color Difference Scales:**  $\Delta L^*a^*b^*$ ,  $\Delta Lab$ ,  $\Delta L^*C^*H$ ,  $\Delta L^*C^*h$ ,  $\Delta Yxy$ ,  $\Delta XYZ$

**Color Difference Indices:**  $\Delta E^*$ ,  $\Delta E$ ,  $\Delta C^*$ ,  $\Delta C$  and  $\Delta E_{cmc}$

**Indices and Metrics:** E313 Whiteness and Tint (C/2° or D65/10°), E313 Yellowness (C/2° or D65/10°), D1925 Yellowness (C/2°), Y Brightness, Z%, 457 nm Brightness, Opacity, Color Strength (Average and Single Wavelength), Gray Change, Gray Stain, Metamerism Index, Shade Number

**Tomato Color Model Only:** Tomato Color Scores:

TPS - Tomato Paste Score

TSS - Tomato Sauce Score

TCS - Tomato Catsup Score

TJS - Tomato Juice Score

Tomato a/b Ratio

Lycopene Index

**Citrus Color Model Only:** Citrus Number, Citrus Redness, Citrus Yellowness

**Data Storage:** As Standard - 250 spectral or tristimulus with Pass/Fail tolerances as Working, Physical, Numeric and Hitch As Sample - 2000 spectral

## PHYSICAL / ELECTRICAL

**Dimensions:** Height: 16 cm (6.3 in.)

Width: 13 cm (5.1 in.)

Depth: 36 cm (14.2 in.)

Weight: 4.5 kg (9.9 lbs)

**Display:** 7.1 cm x 5.4 cm (2.8 in. x 2.1 in.) backlit color LCD

**Interface:** 3 USB 2.0 ports

**Power:** 100 to 240 VAC 47 to 63 Hz

**Operating Environment:** 10° to 40°C (50° to 104° F), 10 % to 90 % RH, noncondensing

**Storage Environment:** -20° to 65°C (-5° to 150° F), 10 % to 90 % RH, noncondensing

**Standard Accessories:** • Calibrated instrument white tile • Certificate of traceability • Black glass • Green diagnostic tile • Universal AC adaptor • Computer interface cable  
• USB flash drive • ColorFlex EZ User guide.

### Anexo C. Combinación de tratamientos

Unidad	Factor 1	Factor 2	Respuestas
1	MW	Sol	
2	DO	Sol	
3	SPt	Sol	
4	DOMW	Sol	
5	MW	Convectivo	
6	DO	Convectivo	
7	SPt	Convectivo	
8	DOMW	Convectivo	
9	MW	Sol	
10	DO	Sol	
11	SPt	Sol	
12	DOMW	Sol	
13	MW	Convectivo	
14	DO	Convectivo	
15	SPt	Convectivo	
16	DOMW	Convectivo	
17	MW	Sol	
18	DO	Sol	
19	SPt	Sol	
20	DOMW	Sol	
21	MW	Convectivo	
22	DO	Convectivo	
23	SPt	Convectivo	
24	DOMW	Convectivo	

DO: Deshidratación osmótica; MW: microondas, SPt: sin pretratamiento y DOMW: combinado; sol, convectivo

## Anexo D. Análisis estadístico de pérdida peso (%pp) por Pre-Tratamiento

Variable dependiente: Col\_11

Factor: Pre-T

Número de observaciones: 24

Número de niveles: 4

### El StatAdvisor

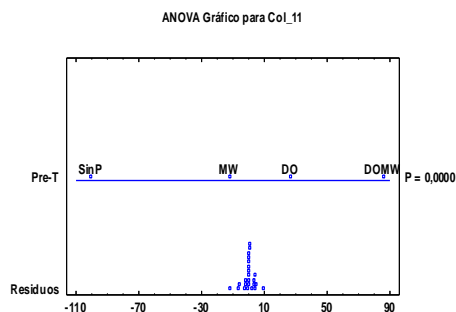
Este procedimiento ejecuta un análisis de varianza de un factor para %PP. Construye varias pruebas y gráficas para comparar los valores medios de %PP para los 4 diferentes niveles de Pre-T. La prueba-F en la tabla ANOVA determinará si hay diferencias significativas entre las medias. Si las hay, las Pruebas de Rangos Múltiples le dirán cuáles medias son significativamente diferentes de otras. Si le preocupa la presencia de valores atípicos, puede elegir la Prueba de Kruskal-Wallis la cual compara las medianas en lugar de las medias. Las diferentes gráficas le ayudarán a juzgar la significancia práctica de los resultados, así como le permitirán buscar posibles violaciones de los supuestos subyacentes en el análisis de varianza.

**Tabla ANOVA para %PP por Pre-T**

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	13816,4	3	4605,47	221,40	0,0000
Intra grupos	416,025	20	20,8013		
Total (Corr.)	14232,4	23			

### El StatAdvisor

La tabla ANOVA descompone la varianza de Col\_11 en dos componentes: un componente entre-grupos y un componente dentro-de-grupos. La razón-F, que en este caso es igual a 221,403, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro-de-grupos. Puesto que el valor-P de la prueba-F es menor que 0,05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de Col\_11 entre un nivel de Pre-T y otro, con un nivel del 95,0% de confianza. Para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras, seleccione Pruebas de Múltiples Rangos, de la lista de Opciones Tabulares.



**Tabla de Medias para Col\_11 por Pre-T con intervalos de confianza del 95,0%**

			Error Est.		
Pre-T	Casos	Media	(s agrupada)	Límite Inferior	Límite Superior
DO	6	45,1833	1,86195	42,4369	47,9297
DOMW	6	66,0333	1,86195	63,2869	68,7797
MW	6	31,4333	1,86195	28,6869	34,1797
SinP	6	0	1,86195	-2,74639	2,74639
Total	24	35,6625			

### El StatAdvisor

Esta tabla muestra la media de Col\_11 para cada nivel de Pre-T. También muestra el error estándar de cada media, el cual es una medida de la variabilidad de su muestreo. El error estándar es el resultado de dividir la desviación estándar mancomunada entre el número de observaciones en cada nivel. La tabla también muestra un intervalo alrededor de cada

media. Están contruidos de tal manera que, si dos medias son iguales, sus intervalos se traslaparán un 95,0% de las veces. Puede ver gráficamente los intervalos seleccionando Gráfica de Medias de la lista de Opciones Gráficas. En las Pruebas de Rangos Múltiples, estos intervalos se usan para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras.

#### Pruebas de Múltiple Rangos para Col\_11 por Pre-T

Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD

<i>Pre-T</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
SinP	6	0	X
MW	6	31,4333	X
DO	6	45,1833	X
DOMW	6	66,0333	X

<i>Contraste</i>	<i>Sig.</i>	<i>Diferencia</i>	<i>+/- Límites</i>
DO - DOMW	*	-20,85	7,37263
DO - MW	*	13,75	7,37263
DO - SinP	*	45,1833	7,37263
DOMW - MW	*	34,6	7,37263
DOMW - SinP	*	66,0333	7,37263
MW - SinP	*	31,4333	7,37263

\* indica una diferencia significativa.

#### El StatAdvisor

Esta tabla aplica un procedimiento de comparación multiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras. La mitad inferior de la salida muestra las diferencias estimadas entre cada par de medias. El asterisco que se encuentra al lado de los 6 pares indica que estos pares muestran diferencias estadísticamente significativas con un nivel del 95,0% de confianza. En la parte superior de la página, se han identificado 4 grupos homogéneos según la alineación de las X's en columnas. No existen diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartan una misma columna de X's. El método empleado actualmente para discriminar entre las medias es el procedimiento de diferencia honestamente significativa (HSD) de Tukey. Con este método hay un riesgo del 5,0% al decir que uno o más pares son significativamente diferentes, cuando la diferencia real es igual a 0.

## Anexo E. Análisis estadístico de la velocidad de secado

Variable dependiente: Velocidad de Secado  
Factor: Tratamiento

Número de observaciones: 32  
Número de niveles: 8

El StatAdvisor

Este procedimiento ejecuta un análisis de varianza de un factor para Velocidad de Secado. Construye varias pruebas y gráficas para comparar los valores medios de Velocidad de Secado para los 8 diferentes niveles de Tratamiento. La prueba-F en la tabla ANOVA determinará si hay diferencias significativas entre las medias. Si las hay, las Pruebas de Rangos Múltiples le dirán cuáles medias son significativamente diferentes de otras. Si le preocupa la presencia de valores atípicos, puede elegir la Prueba de Kruskal-Wallis la cual compara las medianas en lugar de las medias. Las diferentes gráficas le ayudarán a juzgar la significancia práctica de los resultados, así como le permitirán buscar posibles violaciones de los supuestos subyacentes en el análisis de varianza.

Tabla ANOVA para Velocidad de Secado por Tratamiento

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	5,34219E7	7	7,6317E6	157575,34	0,0000
Intra grupos	1162,37	24	48,4321		
Total (Corr.)	5,34231E7	31			

El StatAdvisor

La tabla ANOVA descompone la varianza de Velocidad de Secado en dos componentes: un componente entre-grupos y un componente dentro-de-grupos. Puesto que el valor-P de la prueba-F es menor que 0,05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de Velocidad de Secado entre un nivel de Tratamiento y otro, con un nivel del 95,0% de confianza. Para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras, seleccione Pruebas de Múltiples Rangos, de la lista de Opciones Tabulares.

Tabla de Medias para Velocidad de Secado por Tratamiento con intervalos de confianza del 95,0%

			Error Est.		
Tratamiento	Casos	Media	(s agrupada)	Límite Inferior	Límite Superior
1	4	492,286	3,47966	484,135	500,436
2	4	1063,31	3,47966	1055,16	1071,46
3	4	1851,14	3,47966	1842,99	1859,29
4	4	4441,55	3,47966	4433,4	4449,7
5	4	112,729	3,47966	104,578	120,879
6	4	625,313	3,47966	617,163	633,464
7	4	571,087	3,47966	562,937	579,238
8	4	1009,04	3,47966	1000,89	1017,19
Total	32	1270,81			

El StatAdvisor

Esta tabla muestra la media de Velocidad de Secado para cada nivel de Tratamiento. También muestra el error estándar de cada media, el cual es una medida de la variabilidad de su muestreo. El error estándar es el resultado de dividir la desviación estándar mancomunada entre el número de observaciones en cada nivel. La tabla también muestra un intervalo alrededor de cada media. Los intervalos mostrados actualmente están basados en la diferencia honestamente significativa (HSD) de Tukey. Están contruidos de tal forma que si todas las medias son iguales, todos los intervalos se traslaparán 95,0% de las veces. Puede ver gráficamente los intervalos seleccionando Gráfica de Medias de la lista de Opciones Gráficas. En las Pruebas de Rangos Múltiples, estos intervalos se usan para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras.

### Pruebas de Múltiple Rangos para Velocidad de Secado por Tratamiento

Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD

Tratamiento	Casos	Media	Grupos Homogéneos
5	4	112,729	X
1	4	492,286	X

7	4	571,087	X
6	4	625,313	X
8	4	1009,04	X
2	4	1063,31	X
3	4	1851,14	X
4	4	4441,55	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
1 - 2	*	-571,021	16,3011
1 - 3	*	-1358,86	16,3011
1 - 4	*	-3949,26	16,3011
1 - 5	*	379,557	16,3011
1 - 6	*	-133,028	16,3011
y1 - 7	*	-78,8017	16,3011
1 - 8	*	-516,754	16,3011
2 - 3	*	-787,837	16,3011
2 - 4	*	-3378,24	16,3011
2 - 5	*	950,578	16,3011
2 - 6	*	437,993	16,3011
2 - 7	*	492,219	16,3011
2 - 8	*	54,2669	16,3011
3 - 4	*	-2590,4	16,3011
3 - 5	*	1738,41	16,3011
3 - 6	*	1225,83	16,3011
3 - 7	*	1280,06	16,3011
3 - 8	*	842,104	16,3011
4 - 5	*	4328,82	16,3011
4 - 6	*	3816,24	16,3011
4 - 7	*	3870,46	16,3011
4 - 8	*	3432,51	16,3011
5 - 6	*	-512,585	16,3011
5 - 7	*	-458,359	16,3011
5 - 8	*	-896,311	16,3011
6 - 7	*	54,226	16,3011
6 - 8	*	-383,726	16,3011
7 - 8	*	-437,952	16,3011

\* indica una diferencia significativa.

El StatAdvisor

Esta tabla aplica un procedimiento de comparación múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras. La mitad inferior de la salida muestra las diferencias estimadas entre cada par de medias. El asterisco que se encuentra al lado de los 28 pares indica que estos pares muestran diferencias estadísticamente significativas con un nivel del 95,0% de confianza. En la parte superior de la página, se han identificado 8 grupos homogéneos según la alineación de las X's en columnas. No existen diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartan una misma columna de X's. El método empleado actualmente para discriminar entre las medias es el procedimiento de diferencia honestamente significativa (HSD) de Tukey. Con este método hay un riesgo del 5,0% al decir que uno o más pares son significativamente diferentes, cuando la diferencia real es igual a 0



# Anexo F. Modelos matemáticos de la cinética de secado

PRETRATAMIENTO		SECADO EN HORNO		
SIN PRETRATAMIENTO				
MODELO	PARAMETROS	SSE	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> ajustado
Newton	k= 1,9727	0,0079	0,991	0,993
Page	k=2,1652; y=1,1336	0,0031	0,9967	0,995
Page Modificado	k= 1,956; y= 1	0,3834	0,934	0,932
Henderson Y Pabis	k= 2,0235; a=1,0208	0,007	0,9924	0,993
Logaritmico	k= 1,4697; a=1,1598; c=-0,1664	0,0004	0,9996	0,990
Thomson	a= -1,5408; b=0,6320	0,0022	0,9978	0,988
AproximacionifDiffusion (Difusión)	k= 1,9727; a= 1; b= 1	0,0079	0,991	0,993
Dos términos	k <sub>0</sub> = 2,0235; k <sub>1</sub> = 2,0235; a= 0,5104; b= 0,5104	0,0071	0,9924	0,993
Midilli and Kucuk	k= 1,6552; a= 0,9951; b= -0,0891; n= 0,9993	0,0004	0,9995	0,988
Modificado de Henderson and Pabis	k=2,0235;g=2,0235;h=2,0235; a= 0,3402; b= 0,3402; c=0,3402	0,0071	0,9924	0,993
TwoTermExponential	k= 1,9727; a=1	0,0079	0,991	0,993
Verma et al.	k=1,4948; g= 0,0439; a= 1,1688	0,0004	0,9995	0,991
Modified Page Equation-II	k= 1,1488; L= 0,7561; n=1,1336	0,0031	0,9968	0,995

PRETRATAMIENTO		SECADO AL SOL		
SIN PRETRATAMIENTO				
MODELO	PARAMETROS	SSE	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> ajustado
Newton	k= 0,5254	0,011	0,9953	0,996
Page	k=0,5068; y=1,0464	0,0098	0,996	0,996
Page Modificado	k= 0,491; y= 1	0,3581	0,988	0,988
Henderson Y Pabis	k= 0,5237; a=0,9974	0,011	0,9953	0,996
Logaritmico	k= 0,4688; a=1,0208; c=-0,0370	0,0058	0,9976	0,997
Thomson	a= -0,3324; b=0,0264	0,0644	0,9782	0,987
AproximacionifDiffusion (Difusión)	k= 0,5254; a= 1; b= 1	0,011	0,9953	0,996
Dos términos	k <sub>0</sub> = 0,5237; k <sub>1</sub> = 0,5237; a= 0,4987; b= 0,4987	0,011	0,9953	0,996
Midilli and Kucuk	k= 0,4682; a= 0,9730; b= -0,0031; n= 1,0547	0,0059	0,9975	0,997
Modificado de Henderson and Pabis	k=0,5237;g=0,5237;h=0,5237; a= 0,3324; b= 0,3324; c=0,3324	0,011	0,9953	0,996
TwoTermExponential	k= 0,5254; a=1	0,011	0,9953	0,996
Verma et al.	k=0,7109; g= 0,7117; a= 278,7563	0,0086	0,9965	0,997
Modified Page Equation-II	k= 0,8499; L= 1,2801; n= 1,0464	0,0098	0,996	0,996

PRETRATAMIENTO		SECADO EN HORNO		
MICROONDAS				
MODELO	PARAMETROS	SSE	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> ajustado
Newton	k= 5,5355	0,0535	0,9467	0,946
Page	k= 5,5355; y=1	0,0535	0,9467	0,946
Page Modificado	k= 5,282; y= 1	1,6896	0,922	0,926
Henderson Y Pabis	k= 4,9184; a=0,9124	0,0453	0,9465	0,942
Logaritmico	k= 5,9408; a=0,8888; c=0,0473	0,0388	0,9505	0,947
Thomson	a= -2,7041; b=1,6796	0,2389	0,8187	0,831
AproximaciónifDiffusion (Difusión)	k= 5,5355; a= 1; b= 1	0,0535	0,9467	0,946
Dos términos	k <sub>0</sub> = 4,9184; k <sub>1</sub> = 4,9184; a= 0,4562; b= 0,4562	0,0453	0,9465	0,942
Midilli and Kucuk	k= 2,1024; a= 0,9990; b= -0,1086; n= 0,4225	0,0027	0,9966	0,996
Modificado de Henderson and Pabis	k=4,9184;g=4,9184;h=4,9184; a= 0,3041; b= 0,3041; c=0,3041	0,0453	0,9465	0,942
TwoTermExponential	k= 5,5355; a=0,9999	0,0535	0,9467	0,946
Verma et al.	k= 339,9427; g= 2,9144; a= 0,4057	0,0021	0,9973	0,998
Modified Page Equation-II	k= 1,2511; L= 0,4740; n= 0,5987	0,0098	0,9877	0,987

PRETRATAMIENTO		SECADO AL SOL		
MICROONDAS				
MODELO	PARAMETROS	SSE	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> ajustado
Newton	k= 1,3997	0,142	0,9184	0,924
Page	k= 1,2739; y= 0,5681	0,0294	0,9764	0,978
Page Modificado	k= 1,405; y= 1	0,1988	0,91	0,908
Henderson Y Pabis	k= 0,9575; a=0,8003	0,0857	0,9324	0,931
Logaritmico	k= 1,0573; a=0,7955; c=0,0194	0,0831	0,9316	0,932
Thomson	a= -0,4714; b=0,0492	0,7244	0,7582	0,846
AproximaciónifDiffusion (Difusión)	k= 1,3997; a= 1; b= 1	0,1419	0,9184	0,924
Dos términos	k <sub>0</sub> = 0,9575; k <sub>1</sub> = 0,9575; a= 0,4001; b= 0,4001	0,0857	0,9324	0,931
Midilli and Kucuk	k= 1,1665; a= 0,9888; b= -0,0113; n= 0,4749	0,0177	0,9861	0,986
Modificado de Henderson and Pabis	k=0,9575;g=0,9575;h=0,9575; a= 0,2667; b= 0,2667; c=0,2667	0,0857	0,9324	0,931
TwoTermExponential	k= 1,3997; a= 1	0,1419	0,9184	0,924
Verma et al.	k= 161,6774; g= 0,6579; a= 0,3852	0,0034	0,9973	0,998
Modified Page Equation-II	k= 1,0883; L= 0,8705; n= 0,5681	0,0294	0,9764	0,978

PRETRATAMIENTO		SECADO EN HORNO		
DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA				
MODELO	PARAMETROS	SSE	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> ajustado
Newton	k= 2,3021	0,1225	0,9391	0,954
Page	k=1,8788; y=0,6404	0,0196	0,9861	0,987
Page Modificado	k= 2,165; y= 1	0,8139	0,922	0,921
Henderson Y Pabis	k= 1,7295; a=0,8194	0,0648	0,9549	0,954
Logaritmico	k= 2,0086; a=0,8171; c=0,0263	0,0611	0,9561	0,956
Thomson	a= -1,1256; b=0,3095	0,4259	0,8423	0,896
AproximaciónifDiffusion (Difusión)	k=2,3021; a= 1; b= 1	0,1225	0,9391	0,954
Dos términos	k <sub>0</sub> = 1,7295; k <sub>1</sub> =1,7295; a= 0,4097; b= 0,4097	0,0648	0,9549	0,954
Midilli and Kucuk	k= 1,8349; a= 0,8309; b= 0,0068; n= 1	0,0633	0,955	0,955
Modificado de Henderson and Pabis	k=1,7295;g=1,7295;h=1,7295; a= 0,2731; b= 0,2731; c=0,2731	0,0648	0,9549	0,954
TwoTermExponential	k= 2,3021; a=1	0,1225	0,9391	0,954
Verma et al.	k=28,8561; g= 1,3799; a= 0,3357	0,0047	0,9966	0,997
Modified Page Equation-II	k= 1,1615; L= 0,6870; n=0,6404	0,0196	0,9861	0,987

PRETRATAMIENTO		SECADO AL SOL		
DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA				
MODELO	PARAMETROS	SSE	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> ajustado
Newton	k= 0,8242	0,0184	0,9902	0,994
Page	k=0,8542; y=0,8369	0,0037	0,9977	0,998
Page Modificado	k= 0,824; y= 1	0,0439	0,994	0,994
Henderson Y Pabis	k= 0,7469; a=0,9347	0,0095	0,9942	0,994
Logaritmico	k= 0,7772; a=0,9291; c=0,0111	0,0091	0,9944	0,994
Thomson	a= -0,4692; b=0,0522	0,1829	0,9234	0,952
AproximaciónifDiffusion (Difusión)	k=0,8242; a= 1; b= 1	0,0184	0,9902	0,994
Dos términos	k <sub>0</sub> = 0,7469; k <sub>1</sub> =0,7469; a=0,4673; b=0,4673	0,0095	0,9942	0,994
Midilli and Kucuk	k= 0,8214; a=0,9934; b= -0,0055; n=0,7950	0,0016	0,999	0,999
Modificado de Henderson and Pabis	k=0,7469;g=0,7469;h=0,7469; a= 0,3115; b= 0,3115; c=0,3115	0,0095	0,9942	0,994
TwoTermExponential	k= 0,8242; a=1	0,0184	0,9902	0,994
Verma et al.	k=0,6826; g= 12,3277; a= 0,8737	0,0017	0,9989	0,999
Modified Page Equation-II	k= 0,9702; L= 1,0790; n=0,8369	0,0037	0,9977	0,998

PRETRATAMIENTO		SECADO EN HORNO		
COMBINADO (MW + DO)				
MODELO	PARAMETROS	SSE	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> ajustado
Newton	k= 9,6613	0,1489	0,8701	0,906
Page	k=2,5205; y=0,3100	0,0073	0,9918	0,992
Page Modificado	k= 9,551; y= 1	2,1191	0,908	0,906
Henderson Y Pabis	k= 8,7770; a=0,9385	0,1457	0,8606	0,899
Logaritmico	k= 13,3809; a=0,9120; c=0,0688	0,0735	0,913	0,916
Thomson	a= -1,1985; b=0,3150	1,5837	0,4757	0,514
AproximaciónifDiffusion (Difusión)	k=9,6613; a= 1; b= 1	0,1489	0,8701	0,906
Dos términos	k <sub>0</sub> = 8,7770; k <sub>1</sub> =8,7770; a=0,4692; b=0,4692	0,1456	0,8606	0,899
Midilli and Kucuk	k= 9,0736; a=0,9433; b=0,0184; n=1	0,1258	0,8647	0,874
Modificado de Henderson and Pabis	k=8,7770;g=8,7770;h=8,7770; a= 0,3128; b= 0,3128; c=0,3128	0,1457	0,8606	0,899
TwoTermExponential	k= 9,6613; a=1	0,1489	0,8701	0,906
Verma et al.	k=42,4358; g= 1,0861; a= 0,7252	0,0004	0,9996	0,9999
Modified Page Equation-II	k= 1,7639; L= -0,5623; n=0,3100	0,0073	0,9918	0,992

PRETRATAMIENTO		SECADO AL SOL		
COMBINADO (MW + DO)				
MODELO	PARAMETROS	SSE	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> ajustado
Newton	k= 5,5749	0,1046	0,8992	0,915
Page	k=2,4587; y=0,3763	0,0133	0,9844	0,984
Page Modificado	k= 5,427; y= 1	1,2785	0,912	0,910
Henderson Y Pabis	k= 5,1327; a=0,9500	0,1024	0,8926	0,909
Logaritmico	k= 7,9281; a=0,9257; c=0,0623	0,062	0,9246	0,925
Thomson	a= -1,0197; b=0,2141	0,9955	0,5545	0,573
AproximaciónifDiffusion (Difusión)	k=5,5749; a= 1; b= 1	0,1046	0,8992	0,915
Dos términos	k <sub>0</sub> = 5,1327; k <sub>1</sub> =5,1327; a=0,4750; b=0,4750	0,1024	0,8926	0,909
Midilli and Kucuk	k= 5,4061; a=0,9570; b=0,0124; n=1	0,0945	0,894	0,898
Modificado de Henderson and Pabis	k=5,1327;g=5,1327;h=5,1327; a= 0,3166; b= 0,3166; c=0,3166	0,1024	0,8926	0,909
TwoTermExponential	k= 5,5749; a=1	0,1046	0,8992	0,915
Verma et al.	k=178,7917; g= 1,1950; a= 0,6854	0,004	1	0,995
Modified Page Equation-II	k= 1,4599; L= 0,5002; n=0,3763	0,0133	0,9844	0,984

## Anexo G. Análisis estadístico para la difusividad.

Variable dependiente: Difusividad  
Factor: B.Tratamiento

Número de observaciones: 24  
Número de niveles: 8

El StatAdvisor

Este procedimiento ejecuta un análisis de varianza de un factor para Difusividad. Construye varias pruebas y gráficas para comparar los valores medios de Difusividad para los 8 diferentes niveles de B.Tratamiento. La prueba-F en la tabla ANOVA determinará si hay diferencias significativas entre las medias. Si las hay, las Pruebas de Rangos Múltiples le dirán cuáles medias son significativamente diferentes de otras. Si le preocupa la presencia de valores atípicos, puede elegir la Prueba de Kruskal-Wallis la cual compara las medianas en lugar de las medias. Las diferentes gráficas le ayudarán a juzgar la significancia práctica de los resultados, así como le permitirán buscar posibles violaciones de los supuestos subyacentes en el análisis de varianza.

Tabla ANOVA para Difusividad por B.Tratamiento

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0	7	0	9426,97	0,0000
Intra grupos	0	16	0		
Total (Corr.)	0	23			

El StatAdvisor

La tabla ANOVA descompone la varianza de Difusividad en dos componentes: un componente entre-grupos y un componente dentro-de-grupos. La razón-F, que en este caso es igual a 9426,97, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro-de-grupos. Puesto que el valor-P de la prueba-F es menor que 0,05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de Difusividad entre un nivel de B.Tratamiento y otro, con un nivel del 95,0% de confianza. Para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras, seleccione Pruebas de Múltiples Rangos, de la lista de Opciones Tabulares.

Tabla de Medias para Difusividad por B.Tratamiento con intervalos de confianza del 95,0%

			Error Est.		
B.Tratamiento	Casos	Media	(s agrupada)	Límite Inferior	Límite Superior
1	3	3,63969E-10	4,83516E-11	2,45437E-10	4,825E-10
2	3	7,92201E-9	4,83516E-11	7,80348E-9	8,04055E-9
3	3	5,09754E-10	4,83516E-11	3,91222E-10	6,28286E-10
4	3	1,35985E-8	4,83516E-11	1,348E-8	1,37171E-8
5	3	5,16211E-10	4,83516E-11	3,97679E-10	6,34743E-10
6	3	3,23896E-9	4,83516E-11	3,12043E-9	3,3575E-9
7	3	1,91585E-9	4,83516E-11	1,79732E-9	2,03438E-9
8	3	1,79308E-9	4,83516E-11	1,67455E-9	1,91162E-9
Total	24	3,7323E-9			

El StatAdvisor

Esta tabla muestra la media de Difusividad para cada nivel de B.Tratamiento. También muestra el error estándar de cada media, el cual es una medida de la variabilidad de su muestreo. El error estándar es el resultado de dividir la desviación estándar mancomunada entre el número de observaciones en cada nivel. La tabla también muestra un intervalo alrededor de cada media. Los intervalos mostrados actualmente están basados en la diferencia honestamente significativa (HSD) de Tukey. Están contruidos de tal forma que si todas las medias son iguales, todos los intervalos se traslaparán 95,0% de las veces. Puede ver gráficamente los intervalos seleccionando Gráfica de Medias de la lista de Opciones Gráficas. En las Pruebas de Rangos Múltiples, estos intervalos se usan para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras.

### Pruebas de Múltiple Rangos para Difusividad por B.Tratamiento

Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD

B.Tratamiento	Casos	Media	Grupos Homogéneos
---------------	-------	-------	-------------------

1	3	3,63969E-10	X
3	3	5,09754E-10	X
5	3	5,16211E-10	X
8	3	1,79308E-9	X
7	3	1,91585E-9	X
6	3	3,23896E-9	X
2	3	7,92201E-9	X
4	3	1,35985E-8	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
1 - 2	*	-7,55805E-9	2,37063E-10
1 - 3		-1,45785E-10	2,37063E-10
1 - 4	*	-1,32346E-8	2,37063E-10
1 - 5		-1,52242E-10	2,37063E-10
1 - 6	*	-2,87499E-9	2,37063E-10
1 - 7	*	-1,55188E-9	2,37063E-10
1 - 8	*	-1,42911E-9	2,37063E-10
2 - 3	*	7,41226E-9	2,37063E-10
2 - 4	*	-5,67653E-9	2,37063E-10
2 - 5	*	7,4058E-9	2,37063E-10
2 - 6	*	4,68305E-9	2,37063E-10
2 - 7	*	6,00616E-9	2,37063E-10
2 - 8	*	6,12893E-9	2,37063E-10
3 - 4	*	-1,30888E-8	2,37063E-10
3 - 5		-6,45683E-12	2,37063E-10
3 - 6	*	-2,72921E-9	2,37063E-10
3 - 7	*	-1,4061E-9	2,37063E-10
3 - 8	*	-1,28333E-9	2,37063E-10
4 - 5	*	1,30823E-8	2,37063E-10
4 - 6	*	1,03596E-8	2,37063E-10
4 - 7	*	1,16827E-8	2,37063E-10
4 - 8	*	1,18055E-8	2,37063E-10
5 - 6	*	-2,72275E-9	2,37063E-10
5 - 7	*	-1,39964E-9	2,37063E-10
5 - 8	*	-1,27687E-9	2,37063E-10
6 - 7	*	1,32311E-9	2,37063E-10
6 - 8	*	1,44588E-9	2,37063E-10
7 - 8		1,22767E-10	2,37063E-10

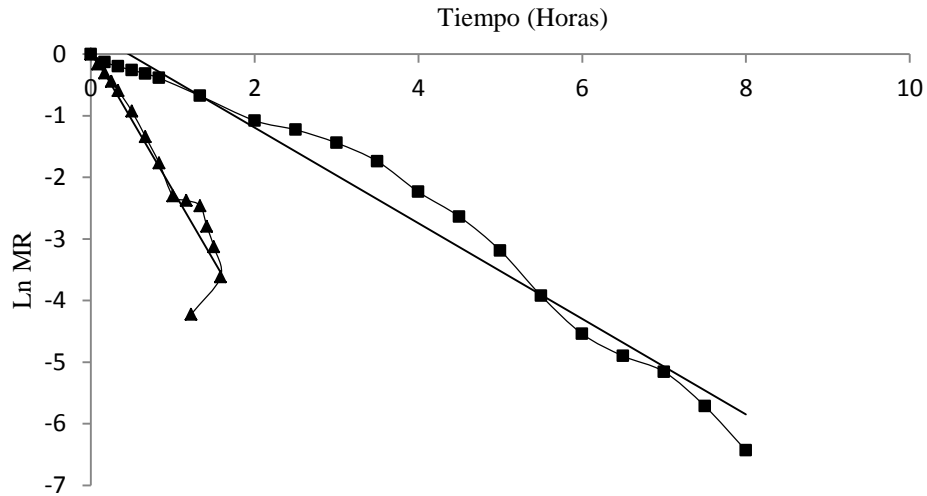
\* indica una diferencia significativa.

#### El StatAdvisor

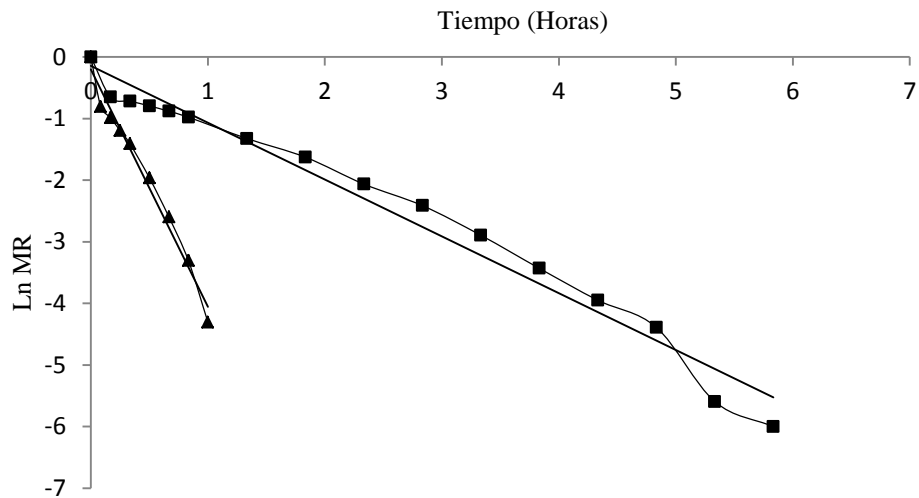
Esta tabla aplica un procedimiento de comparación múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras. La mitad inferior de la salida muestra las diferencias estimadas entre cada par de medias. El asterisco que se encuentra al lado de los 24 pares indica que estos pares muestran diferencias estadísticamente significativas con un nivel del 95,0% de confianza. En la parte superior de la página, se han identificado 5 grupos homogéneos según la alineación de las X's en columnas. No existen diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartan una misma columna de X's. El método empleado actualmente para discriminar entre las medias es el procedimiento de diferencia honestamente significativa (HSD) de Tukey. Con este método hay un riesgo del 5,0% al decir que uno o más pares son significativamente diferentes, cuando la diferencia real es igual a 0.

## Anexo H. Graficas de Ln MR y el Tiempo

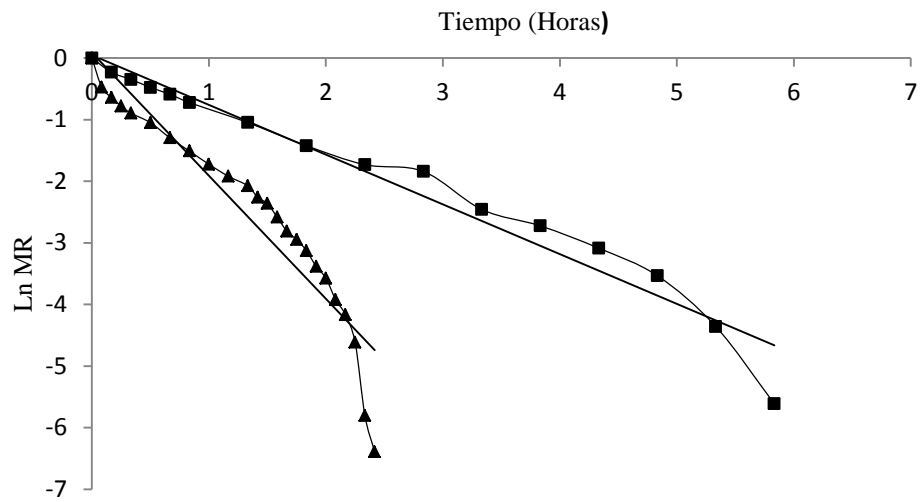
Correlación logarítmica de las curvas de secado para hojuelas de mangos con los métodos:  
▲ E; ■ Sol.



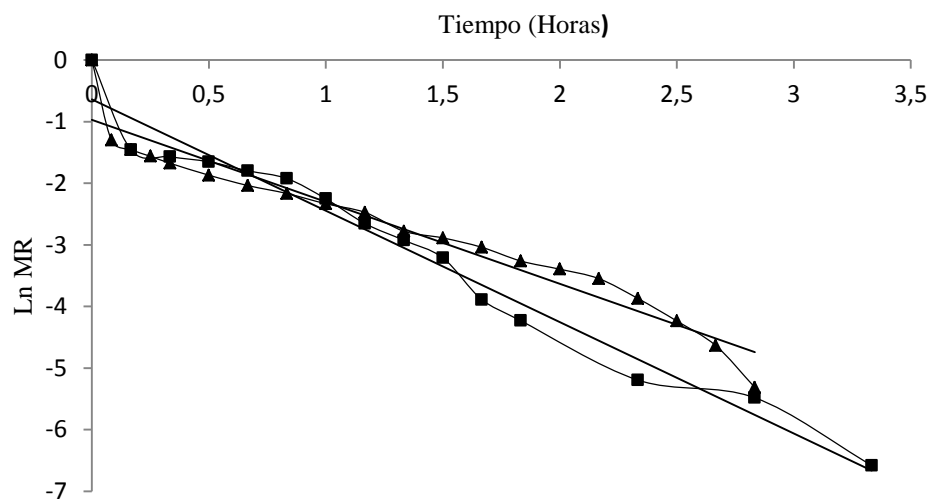
Correlación logarítmica de las curvas de secado para hojuelas de mangos con los métodos:  
▲ MW E; ■ MW Sol.



Correlación logarítmica de las curvas de secado para hojuelas de mangos con los métodos:  
▲ DO E; ■ DO Sol.



Correlación logarítmica de las curvas de secado para hojuelas de mangos con los métodos:  
 ▲ DOMW E; ■ DOMW Sol.





## Anexo I. Análisis estadístico de CIELab\*

### **ANOVA Multifactorial - L\***

Variable dependiente: L\*

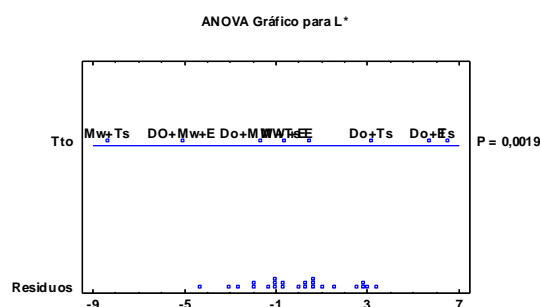
Factores:

Tto

Número de casos completos: 24

#### **El StatAdvisor**

Este procedimiento ejecuta un análisis de varianza de varios factores para L\*. Realiza varias pruebas y gráficas para determinar que factores tienen un efecto estadísticamente significativo sobre L\*. También evalúa la significancia de las interacciones entre los factores, si es que hay suficientes datos. Las pruebas-F en la tabla ANOVA le permitirán identificar los factores significativos. Para cada factor significativo, las Pruebas de Rangos Múltiples le dirán cuales medias son significativamente diferentes de otras. La Gráfica de Medias y la Gráfica de Interacciones le ayudarán a interpretar los efectos significativos. Las Gráficas de Residuos le ayudarán a juzgar si los datos han violado los supuestos subyacentes al análisis de varianza.



#### **Análisis de Varianza para L\* - Suma de Cuadrados Tipo III**

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Tto	240,632	7	34,376	5,73	0,0019
RESIDUOS	95,9912	16	5,99945		
TOTAL (CORREGIDO)	336,623	23			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

#### **El StatAdvisor**

La tabla ANOVA descompone la variabilidad de L\* en contribuciones debidas a varios factores. Puesto que se ha escogido la suma de cuadrados Tipo III (por omisión), la contribución de cada factor se mide eliminando los efectos de los demás factores. Los valores-P prueban la significancia estadística de cada uno de los factores. Puesto que un valor-P es menor que 0,05, este factor tiene un efecto estadísticamente significativo sobre L\* con un 95,0% de nivel de confianza.

#### **Tabla de Medias por Mínimos Cuadrados para L\* con intervalos de confianza del 95,0%**

			Error	Límite	Límite
Nivel	Casos	Media	Est.	Inferior	Superior
MEDIA GLOBAL	24	56,4983			
Tto					
DO+Mw+E	3	53,1467	1,41415	50,1488	56,1445
Do+E	3	60,2433	1,41415	57,2455	63,2412
Do+MW+Ts	3	55,3933	1,41415	52,3955	58,3912
Do+Ts	3	58,5733	1,41415	55,5755	61,5712
E	3	56,8033	1,41415	53,8055	59,8012
MW+E	3	56,07	1,41415	53,0721	59,0679
Mw+Ts	3	50,96	1,41415	47,9621	53,9579
Ts	3	60,7967	1,41415	57,7988	63,7945

### El StatAdvisor

Esta tabla muestra la media de L\* para cada uno de los niveles de los factores. También muestra los errores estándar de cada media, los cuales son una medida de la variabilidad en su muestreo. Las dos columnas de la extrema derecha muestran intervalos de confianza del 95,0% para cada una de las medias. Pueden desplegarse estas medias e intervalos seleccionado Gráfica de Medias de la lista de Opciones Gráficas.

### Pruebas de Múltiple Rangos para L\* por Tto

Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD

Tto	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
Mw+Ts	3	50,96	1,41415	X
DO+Mw+E	3	53,1467	1,41415	XX
Do+MW+Ts	3	55,3933	1,41415	XXX
MW+E	3	56,07	1,41415	XXX
E	3	56,8033	1,41415	XXX
Do+Ts	3	58,5733	1,41415	XX
Do+E	3	60,2433	1,41415	X
Ts	3	60,7967	1,41415	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
DO+Mw+E - Do+E	*	-7,09667	6,93345
DO+Mw+E - Do+MW+Ts		-2,24667	6,93345
DO+Mw+E - Do+Ts		-5,42667	6,93345
DO+Mw+E - E		-3,65667	6,93345
DO+Mw+E - MW+E		-2,92333	6,93345
DO+Mw+E - Mw+Ts		2,18667	6,93345
DO+Mw+E - Ts	*	-7,65	6,93345
Do+E - Do+MW+Ts		4,85	6,93345
Do+E - Do+Ts		1,67	6,93345
Do+E - E		3,44	6,93345
Do+E - MW+E		4,17333	6,93345
Do+E - Mw+Ts	*	9,28333	6,93345
Do+E - Ts		-0,553333	6,93345
Do+MW+Ts - Do+Ts		-3,18	6,93345
Do+MW+Ts - E		-1,41	6,93345
Do+MW+Ts - MW+E		-0,676667	6,93345
Do+MW+Ts - Mw+Ts		4,43333	6,93345
Do+MW+Ts - Ts		-5,40333	6,93345
Do+Ts - E		1,77	6,93345
Do+Ts - MW+E		2,50333	6,93345
Do+Ts - Mw+Ts	*	7,61333	6,93345
Do+Ts - Ts		-2,22333	6,93345
E - MW+E		0,733333	6,93345
E - Mw+Ts		5,84333	6,93345
E - Ts		-3,99333	6,93345
MW+E - Mw+Ts		5,11	6,93345
MW+E - Ts		-4,72667	6,93345
Mw+Ts - Ts	*	-9,83667	6,93345

\* indica una diferencia significativa.

### El StatAdvisor

Esta tabla aplica un procedimiento de comparación multiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras. La mitad inferior de la salida muestra las diferencias estimadas entre cada par de medias. El asterisco que se encuentra al lado de los 5 pares indica que estos pares muestran diferencias estadísticamente significativas con un nivel del 95,0% de confianza. En la parte superior de la página, se han identificado 3 grupos homogéneos según la alineación de las X's en columnas. No existen diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartan una misma columna de X's. El método empleado actualmente para discriminar entre las medias es el procedimiento de diferencia honestamente significativa (HSD) de Tukey. Con este método hay un riesgo del 5,0% al decir que uno o más pares son significativamente diferentes, cuando la diferencia real es igual a 0.

## ANOVA Multifactorial - a\*

Variable dependiente: a\*

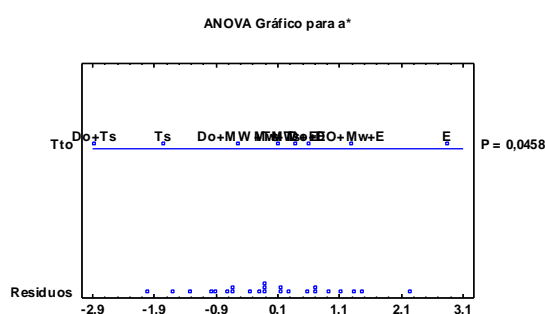
Factores:

Tto

Número de casos completos: 24

### El StatAdvisor

Este procedimiento ejecuta un análisis de varianza de varios factores para a\*. Realiza varias pruebas y gráficas para determinar que factores tienen un efecto estadísticamente significativo sobre a\*. También evalúa la significancia de las interacciones entre los factores, si es que hay suficientes datos. Las pruebas-F en la tabla ANOVA le permitirán identificar los factores significativos. Para cada factor significativo, las Pruebas de Rangos Múltiples le dirán cuales medias son significativamente diferentes de otras. La Gráfica de Medias y la Gráfica de Interacciones le ayudarán a interpretar los efectos significativos. Las Gráficas de Residuos le ayudarán a juzgar si los datos han violado los supuestos subyacentes al análisis de varianza.



### Análisis de Varianza para a\* - Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Tto	28,8704	7	4,12434	2,73	0,0458
RESIDUOS	24,2057	16	1,51286		
TOTAL (CORREGIDO)	53,0761	23			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

### El StatAdvisor

La tabla ANOVA descompone la variabilidad de a\* en contribuciones debidas a varios factores. Puesto que se ha escogido la suma de cuadrados Tipo III (por omisión), la contribución de cada factor se mide eliminando los efectos de los demás factores. Los valores-P prueban la significancia estadística de cada uno de los factores. Puesto que un valor-P es menor que 0,05, este factor tiene un efecto estadísticamente significativo sobre a\* con un 95,0% de nivel de confianza.

### Tabla de Medias por Mínimos Cuadrados para a\* con intervalos de confianza del 95,0%

Nivel	Casos	Media	Error Est.	Límite Inferior	Límite Superior
MEDIA GLOBAL	24	11,2717			
Tto					
DO+Mw+E	3	12,1267	0,710131	10,6213	13,6321
Do+E	3	11,66	0,710131	10,1546	13,1654
Do+MW+Ts	3	10,9033	0,710131	9,39792	12,4087
Do+Ts	3	9,36333	0,710131	7,85792	10,8687
E	3	13,1533	0,710131	11,6479	14,6587
MW+E	3	11,52	0,710131	10,0146	13,0254
Mw+Ts	3	11,34	0,710131	9,83459	12,8454
Ts	3	10,1067	0,710131	8,60125	11,6121

### El StatAdvisor

Esta tabla muestra la media de a\* para cada uno de los niveles de los factores. También muestra los errores estándar de cada media, los cuales son una medida de la variabilidad en su muestreo. Las dos columnas de la extrema derecha muestran intervalos de confianza del 95,0% para cada una de las medias. Pueden desplegarse estas medias e intervalos seleccionado Gráfica de Medias de la lista de Opciones Gráficas.

### Pruebas de Múltiple Rangos para a\* por Tto

Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD

Tto	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
Do+Ts	3	9,36333	0,710131	X
Ts	3	10,1067	0,710131	XX
Do+MW+Ts	3	10,9033	0,710131	XX
Mw+Ts	3	11,34	0,710131	XX
MW+E	3	11,52	0,710131	XX
Do+E	3	11,66	0,710131	XX
DO+Mw+E	3	12,1267	0,710131	XX
E	3	13,1533	0,710131	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
DO+Mw+E - Do+E		0,466667	3,48171
DO+Mw+E - Do+MW+Ts		1,22333	3,48171
DO+Mw+E - Do+Ts		2,76333	3,48171
DO+Mw+E - E		-1,02667	3,48171
DO+Mw+E - MW+E		0,606667	3,48171
DO+Mw+E - Mw+Ts		0,786667	3,48171
DO+Mw+E - Ts		2,02	3,48171
Do+E - Do+MW+Ts		0,756667	3,48171
Do+E - Do+Ts		2,29667	3,48171
Do+E - E		-1,49333	3,48171
Do+E - MW+E		0,14	3,48171
Do+E - Mw+Ts		0,32	3,48171
Do+E - Ts		1,55333	3,48171
Do+MW+Ts - Do+Ts		1,54	3,48171
Do+MW+Ts - E		-2,25	3,48171
Do+MW+Ts - MW+E		-0,616667	3,48171
Do+MW+Ts - Mw+Ts		-0,436667	3,48171
Do+MW+Ts - Ts		0,796667	3,48171
Do+Ts - E	*	-3,79	3,48171
Do+Ts - MW+E		-2,15667	3,48171
Do+Ts - Mw+Ts		-1,97667	3,48171
Do+Ts - Ts		-0,743333	3,48171
E - MW+E		1,63333	3,48171
E - Mw+Ts		1,81333	3,48171
E - Ts		3,04667	3,48171
MW+E - Mw+Ts		0,18	3,48171
MW+E - Ts		1,41333	3,48171
Mw+Ts - Ts		1,23333	3,48171

\* indica una diferencia significativa.

### El StatAdvisor

Esta tabla aplica un procedimiento de comparación múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras. La mitad inferior de la salida muestra las diferencias estimadas entre cada par de medias. Se ha colocado un asterisco junto a 1 par, indicando que este par muestra diferencias estadísticamente significativas con un nivel del 95,0% de confianza. En la parte superior de la página, se han identificado 2 grupos homogéneos según la alineación de las X's en columnas. No existen diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartan una misma columna de X's. El método empleado actualmente para discriminar entre las medias es el procedimiento de diferencia honestamente significativa (HSD) de Tukey. Con este método hay un riesgo del 5,0% al decir que uno o más pares son significativamente diferentes, cuando la diferencia real es igual a 0.

## ANOVA Multifactorial - b\*

Variable dependiente: b\*

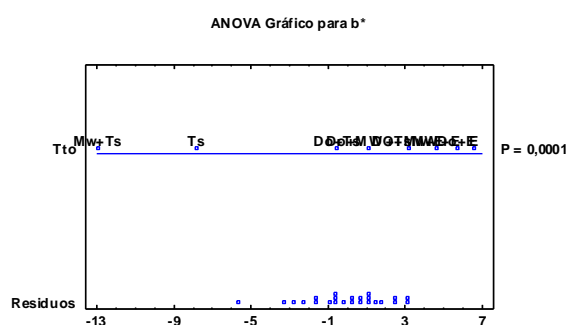
Factores:

Tto

Número de casos completos: 24

### El StatAdvisor

Este procedimiento ejecuta un análisis de varianza de varios factores para b\*. Realiza varias pruebas y gráficas para determinar que factores tienen un efecto estadísticamente significativo sobre b\*. También evalúa la significancia de las interacciones entre los factores, si es que hay suficientes datos. Las pruebas-F en la tabla ANOVA le permitirán identificar los factores significativos. Para cada factor significativo, las Pruebas de Rangos Múltiples le dirán cuales medias son significativamente diferentes de otras. La Gráfica de Medias y la Gráfica de Interacciones le ayudarán a interpretar los efectos significativos. Las Gráficas de Residuos le ayudarán a juzgar si los datos han violado los supuestos subyacentes al análisis de varianza.



### Análisis de Varianza para b\* - Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Tto	443,129	7	63,3041	9,60	0,0001
RESIDUOS	105,518	16	6,59488		
TOTAL (CORREGIDO)	548,647	23			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

### El StatAdvisor

La tabla ANOVA descompone la variabilidad de b\* en contribuciones debidas a varios factores. Puesto que se ha escogido la suma de cuadrados Tipo III (por omisión), la contribución de cada factor se mide eliminando los efectos de los demás factores. Los valores-P prueban la significancia estadística de cada uno de los factores. Puesto que un valor-P es menor que 0,05, este factor tiene un efecto estadísticamente significativo sobre b\* con un 95,0% de nivel de confianza.

### Tabla de Medias por Mínimos Cuadrados para b\* con intervalos de confianza del 95,0%

Nivel	Casos	Media	Error Est.	Límite Inferior	Límite Superior
MEDIA GLOBAL	24	44,7433			
Tto					
DO+Mw+E	3	46,8667	1,48266	43,7236	50,0098
Do+E	3	48,5067	1,48266	45,3636	51,6498
Do+MW+Ts	3	45,4933	1,48266	42,3502	48,6364
Do+Ts	3	44,3667	1,48266	41,2236	47,5098
E	3	49,1133	1,48266	45,9702	52,2564
MW+E	3	47,8233	1,48266	44,6802	50,9664
Mw+Ts	3	36,19	1,48266	33,0469	39,3331
Ts	3	39,5867	1,48266	36,4436	42,7298

### El StatAdvisor

Esta tabla muestra la media de  $b^*$  para cada uno de los niveles de los factores. También muestra los errores estándar de cada media, los cuales son una medida de la variabilidad en su muestreo. Las dos columnas de la extrema derecha muestran intervalos de confianza del 95,0% para cada una de las medias. Pueden desplegarse estas medias e intervalos seleccionado Gráfica de Medias de la lista de Opciones Gráficas.

### Pruebas de Múltiple Rangos para $b^*$ por Tto

Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD

Tto	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
Mw+Ts	3	36,19	1,48266	X
Ts	3	39,5867	1,48266	XX
Do+Ts	3	44,3667	1,48266	XX
Do+MW+Ts	3	45,4933	1,48266	XX
DO+Mw+E	3	46,8667	1,48266	X
MW+E	3	47,8233	1,48266	X
Do+E	3	48,5067	1,48266	X
E	3	49,1133	1,48266	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
DO+Mw+E - Do+E		-1,64	7,26937
DO+Mw+E - Do+MW+Ts		1,37333	7,26937
DO+Mw+E - Do+Ts		2,5	7,26937
DO+Mw+E - E		-2,24667	7,26937
DO+Mw+E - MW+E		-0,956667	7,26937
DO+Mw+E - Mw+Ts	*	10,6767	7,26937
DO+Mw+E - Ts	*	7,28	7,26937
Do+E - Do+MW+Ts		3,01333	7,26937
Do+E - Do+Ts		4,14	7,26937
Do+E - E		-0,606667	7,26937
Do+E - MW+E		0,683333	7,26937
Do+E - Mw+Ts	*	12,3167	7,26937
Do+E - Ts	*	8,92	7,26937
Do+MW+Ts - Do+Ts		1,12667	7,26937
Do+MW+Ts - E		-3,62	7,26937
Do+MW+Ts - MW+E		-2,33	7,26937
Do+MW+Ts - Mw+Ts	*	9,30333	7,26937
Do+MW+Ts - Ts		5,90667	7,26937
Do+Ts - E		-4,74667	7,26937
Do+Ts - MW+E		-3,45667	7,26937
Do+Ts - Mw+Ts	*	8,17667	7,26937
Do+Ts - Ts		4,78	7,26937
E - MW+E		1,29	7,26937
E - Mw+Ts	*	12,9233	7,26937
E - Ts	*	9,52667	7,26937
MW+E - Mw+Ts	*	11,6333	7,26937
MW+E - Ts	*	8,23667	7,26937
Mw+Ts - Ts		-3,39667	7,26937

\* indica una diferencia significativa.

### El StatAdvisor

Esta tabla aplica un procedimiento de comparación múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras. La mitad inferior de la salida muestra las diferencias estimadas entre cada par de medias. El asterisco que se encuentra al lado de los 10 pares indica que estos pares muestran diferencias estadísticamente significativas con un nivel del 95,0% de confianza. En la parte superior de la página, se han identificado 3 grupos homogéneos según la alineación de las X's en columnas. No existen diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartan una misma columna de X's. El método empleado actualmente para discriminar entre las medias es el procedimiento de diferencia honestamente significativa (HSD) de Tukey. Con este método hay un riesgo del 5,0% al decir que uno o más pares son significativamente diferentes, cuando la diferencia real es igual a 0.

## Anexo J. Análisis estadístico del análisis sensorial

### **Comparación de Varias Muestras**

Muestra 1: Ts

Muestra 2: Mw+Ts

Muestra 3: Do+Ts

Muestra 4: E

Muestra 5: Mw+E

Muestra 6: Do+E

Muestra 7: Do+Mw+Ts

Muestra 8: Do+Mw+E

Muestra 1: 50 valores en el rango de 3,0 a 8,0

Muestra 2: 50 valores en el rango de 1,0 a 5,0

Muestra 3: 50 valores en el rango de 3,0 a 8,0

Muestra 4: 50 valores en el rango de 2,0 a 8,0

Muestra 5: 50 valores en el rango de 1,0 a 7,0

Muestra 6: 50 valores en el rango de 2,0 a 8,0

Muestra 7: 50 valores en el rango de 1,0 a 7,0

Muestra 8: 50 valores en el rango de 1,0 a 8,0

#### **El StatAdvisor**

Este procedimiento compara los datos en 8 columnas del archivo de datos actual. Realiza varias pruebas estadísticas y gráficas para comparar las muestras. La prueba-F en la tabla ANOVA determinará si hay diferencias significativas entre las medias. Si las hay, las Pruebas de Rangos Múltiples le dirán cuáles medias son significativamente diferentes de otras. Si le preocupa la presencia de valores atípicos, puede elegir la Prueba de Kruskal-Wallis la cual compara las medianas en lugar de las medias. Las diferentes gráficas le ayudarán a juzgar la significancia práctica de los resultados, así como le permitirán buscar posibles violaciones de los supuestos subyacentes en el análisis de varianza.

#### **Tabla ANOVA**

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	1387,72	7	198,246	107,90	0,0000
Intra grupos	720,24	392	1,83735		
Total (Corr.)	2107,96	399			

#### **El StatAdvisor**

La tabla ANOVA descompone la varianza de los datos en dos componentes: un componente entre-grupos y un componente dentro-de-grupos. La razón-F, que en este caso es igual a 107,898, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro-de-grupos. Puesto que el valor-P de la prueba-F es menor que 0,05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las 8 variables con un nivel del 95,0% de confianza. Para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras, seleccione Pruebas de Múltiples Rangos, de la lista de Opciones Tabulares.

#### **Tabla de Medias con intervalos de confianza del 95,0%**

			<i>Error Est.</i>		
	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>(s agrupada)</i>	<i>Límite Inferior</i>	<i>Límite Superior</i>
Ts	50	5,76	0,191695	5,49351	6,02649
Mw+Ts	50	1,7	0,191695	1,43351	1,96649
Do+Ts	50	6,9	0,191695	6,63351	7,16649
E	50	4,38	0,191695	4,11351	4,64649
Mw+E	50	2,38	0,191695	2,11351	2,64649
Do+E	50	7,08	0,191695	6,81351	7,34649
Do+Mw+Ts	50	4,4	0,191695	4,13351	4,66649
Do+Mw+E	50	3,32	0,191695	3,05351	3,58649
Total	400	4,49			

#### **El StatAdvisor**

Esta tabla muestra la media para cada columna de datos. También muestra el error estándar de cada media, el cual es una medida de la variabilidad de su muestreo. El error estándar es el resultado de dividir la desviación estándar mancomunada entre el número de observaciones en cada nivel. La tabla también muestra un intervalo alrededor de cada media. Los

intervalos mostrados actualmente están basados en el procedimiento de la diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher. Están contruidos de tal manera que, si dos medias son iguales, sus intervalos se traslaparán un 95,0% de las veces. Puede ver gráficamente los intervalos seleccionando Gráfica de Medias de la lista de Opciones Gráficas. En las Pruebas de Rangos Múltiples, estos intervalos se usan para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras.

### Pruebas de Múltiple Rangos

Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD

	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Mw+Ts	50	1,7	X
Mw+E	50	2,38	X
Do+Mw+E	50	3,32	X
E	50	4,38	X
Do+Mw+Ts	50	4,4	X
Ts	50	5,76	X
Do+Ts	50	6,9	X
Do+E	50	7,08	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
Ts - Mw+Ts	*	4,06	0,826063
Ts - Do+Ts	*	-1,14	0,826063
Ts - E	*	1,38	0,826063
Ts - Mw+E	*	3,38	0,826063
Ts - Do+E	*	-1,32	0,826063
Ts - Do+Mw+Ts	*	1,36	0,826063
Ts - Do+Mw+E	*	2,44	0,826063
Mw+Ts - Do+Ts	*	-5,2	0,826063
Mw+Ts - E	*	-2,68	0,826063
Mw+Ts - Mw+E		-0,68	0,826063
Mw+Ts - Do+E	*	-5,38	0,826063
Mw+Ts - Do+Mw+Ts	*	-2,7	0,826063
Mw+Ts - Do+Mw+E	*	-1,62	0,826063
Do+Ts - E	*	2,52	0,826063
Do+Ts - Mw+E	*	4,52	0,826063
Do+Ts - Do+E		-0,18	0,826063
Do+Ts - Do+Mw+Ts	*	2,5	0,826063
Do+Ts - Do+Mw+E	*	3,58	0,826063
E - Mw+E	*	2,0	0,826063
E - Do+E	*	-2,7	0,826063
E - Do+Mw+Ts		-0,02	0,826063
E - Do+Mw+E	*	1,06	0,826063
Mw+E - Do+E	*	-4,7	0,826063
Mw+E - Do+Mw+Ts	*	-2,02	0,826063
Mw+E - Do+Mw+E	*	-0,94	0,826063
Do+E - Do+Mw+Ts	*	2,68	0,826063
Do+E - Do+Mw+E	*	3,76	0,826063
Do+Mw+Ts - Do+Mw+E	*	1,08	0,826063

\* indica una diferencia significativa.

### El StatAdvisor

Esta tabla aplica un procedimiento de comparación multiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras. La mitad inferior de la salida muestra las diferencias estimadas entre cada par de medias. El asterisco que se encuentra al lado de los 25 pares indica que estos pares muestran diferencias estadísticamente significativas con un nivel del 95,0% de confianza. En la parte superior de la página, se han identificado 5 grupos homogéneos según la alineación de las X's en columnas. No existen diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartan una misma columna de X's. El método empleado actualmente para discriminar entre las medias es el procedimiento de diferencia honestamente significativa (HSD) de Tukey. Con este método hay un riesgo del 5,0% al decir que uno o más pares son significativamente diferentes, cuando la diferencia real es igual a 0.



**Prueba de Friedman**

	<i>Tamaño de Muestra</i>	<i>Rango Promedio</i>
Ts	50	5,76
Mw+Ts	50	1,72
Do+Ts	50	6,9
E	50	4,4
Mw+E	50	2,39
Do+E	50	7,09
Do+Mw+Ts	50	4,4
Do+Mw+E	50	3,34

Estadístico = 230,125    Valor-P = 0

**El StatAdvisor**

La prueba de Friedman evalúa la hipótesis nula de que las medianas dentro de cada una de las 8 columnas es la misma. Los datos en cada fila ordenados de menor a mayor. Se calcula entonces el rango promedio para cada columna. Puesto que el valor-P es menor que 0,05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medianas con un nivel del 95,0% de confianza. Para determinar cuáles medianas son significativamente diferentes de otras, seleccione Gráfico de Caja y Bigotes, de la lista de Opciones Gráficas, y seleccione la opción de muesca de mediana.